

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

E.A.P. DE FÍSICA

**Análisis de radio plages x y su relación con otros
fenómenos de la actividad solar**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Física

AUTOR

Walter Robert Guevara Day

ASESOR

María Luisa Aguilar Hurtado

Lima - Perú

1997

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS

TESIS DE LICENCIATURA EN FISICA

**ANALISIS DE RADIO PLACES X Y SU
RELACION CON OTROS FENOMENOS DE LA
ACTIVIDAD SOLAR**

Presentado por:

Walter Robert Guevara Day.

Asesora de Tesis:

Astrónoma Maria Luisa Aguilar Hurtado

Febrero de 1997

DEDICATORIA

A mi Madre y Hermano por
toda la ayuda y comprensión

DEDICATORIA

A una "gatita": Carmen por
la fuerza final para
continuar y terminar este
trabajo.

AGRADECIMIENTOS.

Existen muchas personas e instituciones que deseo agradecer, en primer lugar al Dr. Josip Kleczec que me enseñó un camino a seguir: la Física Solar. A la profesora María Luisa Aguilar por los consejos en los momentos que los necesite, y por todos los esfuerzos que realiza en impulsar la astronomía en el país como carrera profesional, a través de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Además mi agradecimiento son a los profesores Drs. Jorge Sahade y Sylvio Ferraz Melo por todo el apoyo que brindan al desarrollo de la astronomía en el Perú.

A mis amigos que se fueron: mis abuelitos Percy y Jacinta y al Dr. José Luis Sercic por enseñarme con el ejemplo.

A mis amigos que siguen en la lucha, peruanos y extranjeros, que compartimos y aprendimos juntos, algunos de los cuales no los veo hace mucho, pero que seguimos siendo grandes amigos.

Al Seminario de Astronomía y Astrofísica, institución en la cual hice parte de mi vida, una vida con penas y alegrías alrededor de la astronomía.

A los profesores de la Facultad de Ciencias Físicas de San Marcos que me instruyeron en esta aventura del pensamiento, como lo diría Einstein.

A la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA), y al Dr. Jorge Bravo por las

facilidades dadas para la utilización del planímetro en la transformación de los valores dados por los satélites OSO-5 y OSO-9 a valores numéricos.

Al Radio Observatorio de Jicamarca y a la estación de Huayao del Instituto Geofísico del Perú por facilitarme los "Solar Geophysical Data" que utilice en el presente trabajo.

Un especial agradecimiento a mi Madre por todos los sacrificios que hizo por mí a fin que continúe y termine mis estudios, y a mi hermano por ser incondicional bajo cualquier circunstancia.

El estudio de la astronomía tiene sus recompensas, nos hace ser diferentes y especiales, y con el tiempo solitarios. A mí el estudio de la astronomía me permitió conocer a una persona muy especial para mí, por la cual es posible terminar este trabajo, gracias Carmen por alejarme de la soledad, darme la fuerza y estar conmigo en las buenas y en las malas.

INDICE

CAPITULO I

I.1 INTRODUCCION

I.2 DESCRIPCION DEL FENOMENO

I.3 CONCEPTOS PRELIMINARES

I.3.1 INTERIOR SOLAR

I.3.2. FOTOSFERA

I.3.2.1. ROTACION

I.3.2.2. MOVIMIENTOS MERIDIONALES

I.3.2.3. CELDAS GIGANTES

I.3.2.4. SUPERGRANULACION

I.3.2.5. GRANULACION

I.3.3. CROMOSFERA

I.3.4. LA CORONA

CAPITULO II

ACTIVIDAD SOLAR

II.1 FENOMENOS DE LA ACTIVIDAD SOLAR

II.1.1. SOBRE LA FOTOSFERA

II.1.2. SOBRE LA CROMOSFERA

II.1.3. SOBRE LA CORONA

CAPITULO III

INSTRUMENTACION SOLAR

III.1 INTRODUCCION

SATELITE OSO-5.

CAPITULO IV

MODELO DE LA RADIACION X CORONAL DEL SOL

IV.1 INTRODUCCION

IV.2 RADIACION LIBRE-LIBRE

IV.3. RADIACION LIBRE-LIGADO

CAPITULO V

TRATAMIENTO DE LOS DATOS

V.1 INTRODUCCION

V.2 TRATAMIENTO DE LOS DATOS

V.2.1. DE LAS ISOFOTAS DE R-X

V.2.2. CALCULO DE LA TEMPERATURA Y DENSIDADES
ELECTRONICAS

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFIA

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABLAS

LISTA DE GRAFICOS

CAPITULO I

I.1 .-INTRODUCCION.-

El presente trabajo es realizado teniendo en cuenta los datos recepcionados por los satélites denominados "Orbital Solar Observatory" (OSO), específicamente los satélites artificiales OSO-5 y OSO-9, y publicados en el "Solar Geophysical Data". Estos satélites fueron diseñados para el rango de los rayos-X, (8.4 - 9.3 Å), y la información proporcionada es por medio de isofotas de energía sobre las regiones activas del Sol.

Haciendo una transformación de esta forma de información a valores numéricos y utilizando un modelo teórico, es calculada la densidad electrónica característica del tipo de región activa.

El trabajo está dividido en seis capítulos. En el primero se hace una descripción del fenómeno a estudiar, y se presentan algunos conceptos preliminares sobre la Física Solar: interior, superficie y atmósfera solar.

En el segundo capítulo se establece cómo la actividad solar es vista sobre diferentes regiones del Sol y cómo se relaciona con el planeta Tierra y la importancia del estudio para la vida.

En el tercer capítulo menciono aspectos de la instrumentación solar de los OSOs y cómo fue realizada la adquisición de datos por los mismos.

En el capítulo cuatro describo el modelo teórico de radiación X coronal del Sol utilizado para la determinación de

la densidad electrónica de "plages" de rayos X.

En el quinto capítulo se describe cómo fueron clasificados los datos, su transformación a valores numéricos, el cálculo de la temperatura y de densidades electrónicas respectivas para cada tipo de "plage" de rayos X.

En el capítulo seis tenemos las conclusiones del presente trabajo. Al final incluimos las figuras, tablas y gráficos mencionados, así como la bibliografía utilizada.

I.2 .- DESCRIPCION DEL FENOMENO.-

Gran parte de la emisión solar viene de la región activa donde la temperatura y densidad coronales están en aumento. Diferentes regiones espectrales son emitidas por plasmas coronales con diferentes temperaturas. La radiación X es emitida exclusivamente por regiones activas y una región de emisión de rayos X visto con fotografías o espectroheliogramas es llamado una "plage" de rayos X. En los espectroheliogramas de R-X se tiene información de flujos de fuentes individuales, de su estructura de intensidad (distribución de isofotas), intensidad pico, forma de la plage y área. Entonces se pueden tener características cuantitativas de estas fuentes para la investigación.

De esta información cuantitativa y gráfica registrada en el Solar Geophysical Data, se calculan las áreas correspondientes a cada isofota para cada plage de R-X, utilizando un planímetro. Estas áreas se relacionan con los flujos de energía correspondientes, mediante un factor de conversión para cada isofota, y cada región.

Utilizando un modelo teórico para la emisión de líneas

entre 8.4 y 9.3 amstrongs para el Mg XI y Mg XII, determino la temperatura de la zona donde se producen, y utilizando los valores de energía, área, temperatura encontrados anteriormente juntamente con el formulismo adecuado, resuelvo los valores de las densidades electrónicas para cada región, asociándoles luego sus correspondientes tipos de regiones activas segun varias clasificaciones. Finalmente analizo los resultados cuantitativos y gráficos, para emitir luego las conclusiones pertinentes.

I.3 .- CONCEPTOS PRELIMINARES.-

Para estudiar al Sol generalmente se hacen cuatro divisiones:

I.3.1 .- INTERIOR SOLAR.- El Sol ha sido estudiado desde hace siglos; las civilizaciones China y Maya lo hicieron hace 4000 años atrás; nuestros antepasados también realizaron observaciones solares con fines agrícolas y urbanísticos, pero sólo se preocuparon de su movimiento a lo largo del firmamento celeste. Con el desarrollo del telescopio y luego de la aplicación de la espectroscopia, el estudio del Sol es realizado utilizando las leyes de la física contemporanea.

El Sol es la estrella mas cercana a nuestro planeta, se encuentra a una distancia promedio de 8,3 minutos luz de la tierra, con un diámetro angular de aproximadamente 30 minutos de arco que corresponde a 1.3×10^9 m.

Estructuralmente el Sol esta dividido en:

NUCLEO.- Es la zona donde se producen las reacciones termonucleares, que son las fuentes de energías que permiten al Sol emitir energía en forma estable y constante durante su existencia.

La energía de fusión es la que mantiene al Sol brillando durante 3×10^9 años; y son dos las cadenas principales que producen este tipo de energía:

I) La cadena protón-protón (p-p)

II) La cadena carbono-nitrógeno (C-N)(3 α).

Los cálculos teóricos y la observación de neutrinos solares indican que la cadena (p-p) es la que predomina en el Sol.

ZONA RADIATIVA.- Es la zona donde la energía, que es producida en el núcleo solar y escapa hacia el exterior, está sometida a propiedades frenadoras o aislantes y son las que, en última instancia, van a determinar la luminosidad del Sol.

En esta zona se producen interacciones entre la radiación solar del núcleo y el material solar que lo rodea. Los procesos que producen esta interacción a nivel microscópico son:

Dispersión por electrones.- Producida por fotones y electrones los cuales al interaccionar cambian su dirección (electrones) y aumenta la longitud de onda de la radiación. Esta interacción viene descrita por la sección eficaz de Thomson, que tiene el siguiente valor:

$$\sigma_T = 6,65 \times 10^{-29} \text{ m}^2. \quad (1)$$

Aquí el fotón recorre una pequeña fracción de centímetro (0,03 cm) entre dos dispersiones consecutivas.

Interacción libre-libre (f-f)..- Un electrón libre absorbe un fotón y cambia ligeramente su energía cinética.

Interacción ligado-libre (b-f)..- Un electrón ligado a un núcleo absorbe un fotón y es liberado del núcleo adquiriendo una órbita hiperbólica libre y una cierta energía cinética.

Estas interacciones se manifiestan predominantemente en zonas intermedias (radiativa), cuya temperatura promedio es de 2×10^6 °K y una densidad promedio

$$\rho \cong 1,4 \times 10^{-3} \text{ kg.m}^{-3},$$

con estas características físicas el tiempo que tardaría un fotón en llegar hasta la zona fotosférica sería de $1,7 \times 10^5$ años. A nivel macroscópico se repiten estas interacciones hasta llegar a la zona convectiva.

ZONA CONVECTIVA..- Esta zona se caracteriza por un gradiente de temperatura elevado, donde la masa caliente sale hacia la superficie y la masa fría regresa, dando lugar a un proceso adiabático.

La convección es un proceso muy complejo en el que todo el material plasmático participa en los movimientos de ascenso y descenso con características turbulentas.

Para elaborar un modelo estándar del interior solar se tiene que considerar además lo siguiente:

- a) Existe simetría esférica además de equilibrio hidrostático.
- b) El transporte de energía es por radiación y convección.
- c) La producción de energía es termonuclear.
- d) Existe equilibrio térmico.
- e) La evolución química es producida por los ciclos p-p y C-N.
- f) No existe material mezclado a excepción de la zona convectiva.
- g) El Sol es homogéneo con una evolución de $4,5 \cdot 10^9$ años.

Con estas consideraciones se resuelven las ecuaciones diferenciales de:

Equilibrio hidrostático
$$\frac{dP_r}{dr} = -\frac{G \cdot M_r \cdot \rho_r}{r^2} \quad (2)$$

Balance de Masa
$$\frac{dM_r}{dr} = 4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot \rho_r \quad (3)$$

Balance energético
$$\frac{dL}{dr} = 4\pi \cdot r^2 \cdot \rho \cdot \epsilon \quad (4)$$

Transporte radiativo
$$\frac{dT}{dr} = \frac{-3k \cdot \rho \cdot L_r}{16\pi a c r^2 T^3} \quad (5)$$

Transporte convectivo

$$\left(\frac{dT}{dz} \right)_{\text{rad}} > \left(\frac{\gamma - 1}{\gamma} \right) \left(\frac{T}{P} \right) \left(\frac{dP}{dz} \right) = \left(\frac{dT}{dz} \right)_{\text{adia.}} \quad (6)$$

(Criterio de Schwarzschild).

Donde

aT^4 : es la densidad de energía de la radiación de cuerpo negro.

k : es el coeficiente de opacidad.

γ : es el coeficiente de capacidades caloríficas.

Con las propiedades halladas localmente de:

$$\text{Presión} \quad P = \frac{k}{\mu} \rho T \quad (7)$$

$$\mu: \text{ peso molecular medio } = \frac{\rho}{n m_H}$$

Producción de energía

$$\epsilon = \frac{\text{Energía}}{\text{masa} \cdot \text{tiempo}} = Q \cdot R_{p-p} \quad (8)$$

$$= \text{energía por reacción} \times \frac{N^{\circ} \text{reacciones}}{\text{masa} \cdot \text{tiempo}}$$

$$\text{Opacidad} \quad \kappa_{\nu} = \frac{n \cdot \sigma}{\rho} \quad \left[\begin{array}{l} \text{para diferentes procesos} \\ \text{de interacción} \end{array} \right] \quad (9)$$

Con las condiciones de contorno:

$$\text{para } r=0: \quad M=0, L=0$$

$$\text{para } r=R_0: \quad M=M_0$$

Con una evolución de $4,5 \cdot 10^9$ años y composición inicial:

$$X_0 = 0,73 \pm 0,02 \quad (\text{abundancia de H})$$

$$Y_0 = 0,25 \pm 0,02 \quad (\text{abundancia de He})$$

$$Z_0 = 0,018 \pm 0,002 \quad (\text{abundancia de elementos})$$

pesados)

donde $\mu \approx 0,6$.

Este modelo se grafica en la figura (1).

I.3.2. FOTOSFERA.

Es la capa, no sólida, que más contribuye a que la radiación escape del Sol. Es de aproximadamente 550 Km. de espesor, en la cual, por consideraciones de opacidad de la atmósfera solar, se define el inicio de la fotosfera como la capa con longitud de onda $\lambda = 5000\text{\AA}$, con una profundidad óptica de $\tau_{5000} = 1$ a una altura $h = 0$ Km.

La temperatura decrece conforme va aumentando la altura hasta llegar a los aproximadamente 550 Km. con una temperatura de 4200°K , zona que está fuera del equilibrio termodinámico local (LTE). A partir de esta altura la temperatura empieza a aumentar considerablemente.

Sobre la fotosfera se aprecian varios procesos dinámicos, como son:

- i) Rotación
- ii) Movimientos meridionales.
- iii) Movimientos convectivos.

I.3.2.1. ROTACION.-La rotación solar no es la misma en todas las latitudes, en el ecuador rota más rápido que cerca de los polos. A este fenómeno se le denomina rotación diferencial.

Las medidas de la rotación diferencial se hacen a través de:

- a) Espectroscopía
- b) Uso de trazadores

obteniéndose la siguiente relación:

$$\Omega(\theta) = A + B \sin^2\theta + C \sin^4\theta \quad \text{grados/día. (10)}$$

donde Ω : Velocidad angular siderea

A: Velocidad angular ecuatorial.

Baltasar et al. (1986), muestra una aceleración ecuatorial en los mínimos de actividad solar.

I.3.2.2. MOVIMIENTOS MERIDIONALES.- Estos movimientos están basados en observaciones de trazadores como manchas solares, filamentos, etc.. Teóricamente estos movimientos transportarían momento angular hacia el ecuador solar, lo cual todavía no se ha descubierto observacionalmente.

I.3.2.3. CELDAS GIGANTES. Llamadas también celdas convectivas gigantes, detectadas supuestamente por Bumba y Howard (1965) en mapas a gran escala de los campos magnéticos solares.

I.3.2.4. SUPERGRANULACION. Se producen dentro de la zona convectiva, correspondiéndole la zona de recombinación de Helio y está a mayor profundidad que la zona de convección de Hidrógeno.

Las características son:

- i) Tamaño medio: diámetro ≈ 39000 Km.
- ii) Vida media: ≈ 24 horas.
- iii) Velocidad horizontal: $0,3 - 0,5$ Km/seg.
- iv) Diferencia de temperatura: en $\lambda = 1,6\mu\text{m}$, donde la opacidad es mínima, se observa una mayor temperatura en el centro que en los bordes.
- v) En los bordes de los supergranulos se

encuentran concentrados los campos magnéticos fotosféricos. (Ver figura 2).

Estas supergranulaciones se ponen de manifiesto, preferentemente, a mitad del camino hacia el limbo, por estructuras brillantes y oscuras. El análisis de estas estructuras se hacen por Dopplergramas según el desarrollo de Robert Leighton (1959).

I.3.2.5. GRANULACION. Son estructuras irregulares que cubren toda la fotosfera solar, encontrándose en permanente cambio. Los granulos tienen un diámetro promedio de 1.34" (970 Km.), y nacen de fragmentos que luego se expanden, volviéndose a formar otros granulos de los mismos fragmentos.

La vida media de estos granulos esta entre los 6 a 16 minutos.

A la granulación le corresponde la zona convectiva de recombinación del Hidrógeno. Espectralmente se observan enrojecimientos y azulamientos (Efecto Doppler) correspondientes a partes oscuras y brillantes de los granulos respectivamente.

I.3.3. CROMOSFERA .- La cromósfera es la zona superior de la fotosfera, que emite mayormente en la línea $H\alpha$ (6563Å) debido a que los fotones que salen de la fotosfera son absorbidos y reemitidos en todas las direcciones.

En la figura No 3 se observa la subdivisión, un tanto arbitraria, de la cromósfera. Esta gráfica ha sido realizada con los estudios espaciales en el rango espectral UV e IR.

Esta subdivisión obedece a promedios de las

irregularidades que se observan, sirviendonos de modelos que deben ampliarse con los de estructura fina que se estan promediando.

En la capa media de la cromósfera se observa la RED CROMOSFERICA, que corresponde a la red supergranular.

La estructura fina de la cromósfera consta de dos estructuras fundamentales:

a)Espículas: Son eyecciones de gas (frío) lanzados desde la alta cromósfera, con velocidades de 20 a 30 Km/s., y alturas de hasta 11000 Km., que penetran la corona solar (caliente).

b)Fibrillas: Son estructuras alargadas horizontales que cubren mas o menos la mitad del disco solar, y aparecen como consecuencia del congelamiento del plasma por las líneas magnéticas.

Para estudiar la red cromosférica se han desarrollado modelos de atmósfera en los bordes supergranulares (Gabriel 1976), suponiendo lo siguiente:

i) Campo magnético potencial $\vec{\nabla} \times \vec{B} = 0$

ii) Equilibrio térmico.

iii) Equilibrio hidrostático.

El flujo de campo magnético se expande conforme se aleja de la fotosfera, donde estaba concentrado, hasta llenar homogéneamente la corona (fig 4). Es así que, conforme se quiere observar en líneas de mayor altura de formación sobre la zona de transición, se va perdiendo las trazas de los supergranulos, como se muestran en las fotografías del Sol en calma (fig 5) de agosto 13 de 1973, 16:00 UT, tomadas por el Skylab (cortesía de Harvard College Observatory y de la NASA).

En esta figura se muestran imágenes cerca al centro solar, lejos de regiones activas, obtenidas simultáneamente para 4 líneas de emisión, Ly α (hidrógeno neutro), CIII, OVI, MgX. Las temperaturas de esas emisiones son 1×10^4 °K, 7×10^4 °K, 3×10^5 °K y $1,6 \times 10^6$ °K, respectivamente. Las tres primeras imágenes son emisiones de la cromósfera, observándose la red supergranular, mientras que la imagen en MgX no muestra la red, lo cual indica que la línea de MgX es producido enteramente en la Corona solar.

Tanto en la cromósfera como en la zona de Transición, las pérdidas de energía por radiación son las mas importantes. Para conocer los procesos de balance energético se tiene que considerar los siguientes flujos:

- 1) Radiativo. El cual debe calcularse en el continuo y el discreto
- 2) Conductivo. Ocurre del transporte de energías altas a bajas, y depende de la temperatura (T) y del gradiente de temperatura (dT/dz).
- 3) Entalpia. Referido a movimientos de materia (espículas, viento solar en la corona).

Entonces tenemos:

Conservación de energía \Rightarrow Pérdidas = Ganancias.

Si H: fuentes de calentamiento.

$$\Rightarrow -(\Phi_r + \Phi_{\text{cond}} + \Phi_{\text{ental}}) = H \quad (11)$$

Teniendo en cuenta estas pérdidas de energía se puede concluir que en:

Cromósfera baja y media.

Φ_{rad} es elevado $\sim 4 \cdot 10^3 \text{ W.m}^{-2}$

Φ_{cond} es bajo, por que $T \downarrow$ y $dT/dz \downarrow$.

Φ_{ental} nulo.

$$\Rightarrow H \sim 4 \cdot 10^3 \text{ W.m}^{-2}$$

Cromósfera alta y Zona de Transición baja.

$$\Phi_{\text{rad}} \text{ alto} \sim 3 \cdot 10^2 \text{ W.m}^{-2}.$$

Φ_{cond} alto desde la corona hacia abajo

$$\sim 2 \cdot 10^2 \text{ W.m}^{-2}$$

$$\Phi_{\text{ental}} \sim \Phi_{\text{cond}} \sim -2 \times 10^2 \text{ W.m}^{-2}$$

$$\Rightarrow H = 0 \text{ porque } \Phi_{\text{rad}} \sim -(\Phi_{\text{cond}} + \Phi_{\text{ental}})$$

Zona de transición baja.

Φ_{rad} bajo

Φ_{cond} alto $\sim 2 \cdot 10^2 \text{ W.m}^{-2}$, que e envia hacia la cromósfera y hacia el exterior.

$$\Phi_{\text{ental}} \sim \Phi_{\text{cond}}$$

$$\Rightarrow H = 4 \cdot 10^2 \text{ W.m}^{-2}.$$

En consecuencia, bastará analizar la fuente de calentamiento para la cromósfera baja y para la corona solar.

El calentamiento de la cromósfera baja es debido a ondas acústicas de amplitud finita que tiende a formar ondas de choque, y se analizan en dos medios: uno uniforme y otro verticalmente estratificado.

A estos mecanismos de calentamiento se tienen que considerar, además, los de origen magnético para así poder explicar mejor lo observado

I.3.4. LA CORONA.-

Es la zona solar observada generalmente en los eclipses totales de Sol como un anillo brillante e irregular debido a que la luz fotosférica es dispersada por polvo y electrones.

Debido a la complejidad de esta zona se le agrupa en tres subzonas:

a) Corona E .-Zona de emisión de líneas de Fe XIV 5303Å, Fe X 6374Å.

b) Corona K.- (Corona blanca) Cercana a la superficie (2,3 R_{\odot}) cuyo brillo depende de la densidad de electrones del plasma. Se observan líneas espectroscópicas en el continuo debido a la dispersión de Thomson.

c) Corona F.- Esta sobre la corona K, observándose un espectro discreto debido a la dispersión de luz por polvo (partículas planetarias). En esta subzona se observan todas las líneas de Fraunhofer.

La densidad electrónica va disminuyendo directamente proporcional al alejamiento de la superficie solar, así:

$$n_e \sim 10^{12} \text{ m}^{-3} \text{ en } 1R_{\odot}.$$

$$n_e \sim 10^{11} \text{ m}^{-3} \text{ en } 4R_{\odot}.$$

$$n_e \sim 10^{10} \text{ m}^{-3} \text{ en } 10R_{\odot}.$$

Además tenemos que en luz blanca se observa lo siguiente:

a) Streamers. Son estructuras radiales con densidades entre 3 y 10 veces por encima de lo normal. La forma es de arcos cerrados de líneas magnéticas en el interior, pero abierta en el exterior.

b) Plumas polares. Estructura en forma de rayos, visibles principalmente en el mínimo de actividad solar o sobre agujeros coronales.

La Corona emite térmicamente en R-X, y puede ser observada sobre la atmósfera baja ya que ésta no emite casi nada. De la observación se distingue:

i) Agujeros Coronales: Zonas de campo magnético abierto y de baja densidad $\sim 10^8$ atm/cc. Observandose corrientes de viento solar de alta velocidad; requiriendo $0,1 \text{ Watt/cm}^2$. para expandir el gas que produce el viento solar.

ii) Puntos brillantes en R-X: Probablemente corresponden a reconexiones entre regiones activas efímeras y el magnetismo existente en los lugares de nacimiento.

iii) Arcos Coronales: Se encuentran uniendo zonas de diferente polaridad. Existen varios tipos:

Arcos interconectados, aproximadamente de 700,000 Km., que resultan probablemente de la reconexión de arcos expandidos de varias regiones activas. Con visibilidad intermitente, abriallantándose repentinamente debido probablemente al torcimiento de los pies de los arcos que dan lugar a nuevas reconexiones.

Arcos de regiones activas, con longitudes menores, entre 10 y 100,000 Km., apareciendo como núcleos brillantes sobre regiones activas y densidades altas.

Generalmente en la Corona se observan líneas espectroscópicas de elementos ionizados muchas veces, así tenemos líneas en el Fe XIV, Fe X, Mg X, Fe XV, etc..Estas

líneas se producen en un medio poco denso, lo cual indica entonces que las temperaturas de ésta zona son extremadamente calientes. En la figura (6) observamos la variación de la temperatura promedio (suavizado) con la altura en la atmósfera solar.

CAPITULO II

ACTIVIDAD SOLAR

Las estructuras magnéticas del Sol se representan en grupos denominados: Regiones Activas (RA), que evolucionan hasta su total desintegración. En este sentido es que podemos hablar de actividad solar. Las RA son observadas sobre la fotosfera, cromósfera y corona solar. Las configuraciones magnéticas complejas son las que van a originar las fulguraciones. Al igual que la energía mecánica de un muelle comprimido, una estructura magnética almacena energía magnética (densidad de energía magnética) en forma de torcimientos producidos por los movimientos caóticos de la convección en los pies de las RA. Esta configuración magnética se encuentra en una situación metaestable, que puede ser apartada del equilibrio por algún suceso en cuestión de segundos, liberando energía. El mecanismo de disparo esta en investigación. Esta densidad de energía tiene la forma:

$$\begin{array}{lcl} \text{densidad de energía} & = & \frac{B^2}{8\pi} \text{ erg.} \\ \text{magnética} & & \end{array} \quad (12)$$

Esta densidad de energía magnética se transforma en calor, debido al movimiento que genera en nubes de plasma, aceleración de protones, electrones, núcleos pesados, etc.

II.1. FENOMENOS DE LA ACTIVIDAD SOLAR .- (Fenómenos solares)

Son:

II.1.1. SOBRE LA FOTOSFERA :

a)Fáculas (fotosféricas). Regiones de gran luminosidad, generalmente mayor que la fotosfera, que se extiende irregularmente por miles de kilómetros sobre la superficie del Sol, formandose una gran mancha luminosa, que es observada principalmente en los bordes solares.

b)Manchas solares. Son regiones activas fotosféricas con un decrecimiento de la temperatura ($\sim 4,000^{\circ}\text{K}$), presión y emisión de gas. Con concentraciones de flujos magnéticos y campos magnéticos entre 2,000 y 4,000 Gauss. Estan constituidos por uno ó mas núcleos oscuros (umbra) circundados por una zona menos oscura (penumbra). Los diámetros medios de estas regiones estan entre $10''$ y $1'$ de arco. Su crecimiento individual es a razon de 100 millonésimas del área del hemisferio solar por día y decrecen a razon de 6 millonésimas del área del hemisferio solar por día. La presión del gas disminuye debido a que la presión magnética aumenta en la fotosfera circundante. La temperatura baja debido a la presencia de fuertes campos magnéticos.

II.1.2. SOBRE LA CROMOSFERA :

a)Plages: Son regiones brillantes formados sobre grupos de manchas solares. Para la aparición de una

Plage se requiere un campo magnético de ~ 100 Gauss. Si el campo magnético es mayor de 1000 gauss aparece la mancha solar.

Las Plages son observadas con filtros especiales, teniendo entre los más importantes el filtro $H\alpha$.

Las Plages se estudian generalmente en longitudes de onda de las líneas K de calcio ($\sim 3960\text{\AA}$), 9.1 cm., 21 cm., rango de R-X, etc.

Si el brillo de una plage es muy grande entonces se produce el fenómeno de fulguración.

b) Espículas. Son columnas de gas ($\sim 10,000^\circ\text{K}$) que suben y caen.

c) Fulguraciones. Aparecen cuando la brillantez de la plage es muy grande.

d) Filamentos. Son protuberancias proyectadas sobre la cromósfera. Generalmente son regiones oscuras alargadas de 300 - 1000 Km.

II.1.3. SOBRE LA CORONA :

a) Protuberancias. Son estructuras alargadas a lo largo de las líneas neutras (de campo longitudinal), donde se observa la separación de las polaridades magnéticas. Son estructuras extraordinariamente estables y duraderas. Estas zonas alcanzan una temperatura $\sim 2 \times 10^6^\circ\text{K}$ y se observan con filtros $H\alpha$.

b) Condensación Coronal. Se observan con filtros de Fe XIV; con una densidad entre $10^9 - 10^{10} \text{ e}^-, \text{p}^+/\text{cc}$. Siendo la temperatura mayor que la temperatura de la corona normal. Sobre esta condensación coronal se

observan los bucles (loops) coronales que son tubos magnéticos llenos de plasma caliente, arcos coronales y rayos.

c)Plage X. Se observan sobre la plage cromosférica, en el rango de los rayos X (duros y débiles), los cuales estan relacionados, también, con las manchas solares.

d)Plages radioeléctricas. Es una condensación coronal observada por un telescopio de rayos X.

e)Fulguraciones (Flares). Producidos en la zona cromósfera-corona con un abrillantamiento notable. Este fenómeno ocurre sobre las regiones de manchas solares, produciendose despues de unos minutos una fuerte perturbación del campo magnético y unas horas mas, fuertes tormentas magnéticas sobre la tierra.

Estas observaciones se realizan en las diferentes capas de la atmosfera solar. Para tener una información tridimensional de la explosión, la capa baja se observa en H α y radiofrecuencias y las capas altas en longitudes de onda muy pequeñas: extremo ultravioleta (UVE), rayos X (duros y blandos) e incluso rayos γ .

Estudios en varias longitudes de onda han dado lugar al siguiente modelo, principalmente para configuraciones magnéticas muy complejas:

- El almacenamiento de energía magnética es producida por movimientos caóticos de la convección en los pies del bucle, y pueden almacenar hasta 10^{25} Julios.
- La liberación de la energía almacenada se produce debido a una situación metaestable de la configuración

magnética, que puede suceder en segundos, produciéndose la " fase impulsiva ". El mecanismo de disparo es, posiblemente, la reconexión producida en un arco coronal o por el choque de dos arcos. Cómo se produce esta reconexión?, es el punto menos claro de este modelo. La liberación de energía es en forma de electrones e iones muy acelerados, y de calentamiento del lugar de disparo a temperaturas de hasta 10^6 °K, emitiendo abundante radiación X. Las partículas aceleradas se propagan hacia los pies del arco, donde al chocar, producen el abrillantamiento observado en la cromósfera (normalmente dos bandas brillantes). La fulguración interactúa con los otros arcos que estan encima, produciendo a su vez, chorros de partículas cargadas que calientan los pies cromosféricos de los arcos; pero en este caso, más alejados que los anteriores. Las bandas luminosas de la cromósfera parecen alejarse mutuamente

IMPORTANCIA

El estudio de la actividad solar es muy importante para los habitantes del planeta Tierra. Desde hace muchos años se conoce que existe una fuerte correlación entre la actividad solar y los efectos que se producen en la Tierra. Así por ejemplo, la emisión de una fulguración solar da lugar a dos tipos de efectos en el Planeta: uno simultáneo y otro retardado.

Los efectos simultáneos demoran en observarse aproximadamente 8 minutos después de su producción en el Sol,

lo mismo que demora la velocidad de la luz en llegar a nosotros. La interacción producida es debido a la radiación electromagnética en sus rangos ultravioleta, visible y de radio. La radiación ultravioleta y de rayos X, que es la mas significativa, ionizan la capa D de la ionósfera produciendose luego fluctuaciones geomagnéticas y debilitamiento de las ondas cortas de radio, cambian las cualidades reflectantes de las ondas de radio. En el rango visible esta fulguración es observada con filtro H α , y en el de ondas de radio producen una gran descarga de ruido.

Los efectos retardados llegan a interactuar con la Tierra mucho despues de su observación visible. De esta fulguración producida se emiten rayos cósmicos solares, que demoran menos de una hora, y estan compuestos de núcleos atómicos produciendose una descarga de rayos cósmicos. Las partículas cargadas que son expulsados del Sol despues de producirse una fulguración llegan a nosotros despues de 20 a 40 horas, en forma de iones y electrones de alta energia, interactuando con la magnetósfera terrestre. Estas partículas cargadas entran en la magnetósfera terrestre y se precipitan en las líneas de campo magnético terrestre hacia los polos geomagnéticos. En este proceso ellos golpean los átomos y moléculas de la atmosfera superior de la tierra, cambiandoles a la radiación su emisión característica.

Estas partículas cargadas producen tormentas magnéticas, afectando las comunicaciones telefónicas, inducen corrientes electricas en altas latitudes geomagnéticas produciendo corrosión de metales en los instrumentos de alta presición, afectan a los vuelos de aeronaves cerca de los polos

geomagnéticos reportando errores de compás. También es afectado la vida de los animales que tienen alguna forma de sensor magnético fisiológico, como las palomas, que durante una gran tormenta magnética pierden la capacidad de regresar a su hogar. Fig.(8).

La importancia práctica de entender y ultimadamente predecir la ocurrencia de una fulguración solar, hace que se realicen grandes esfuerzos para su estudio.

Todavía hay mucho por investigar en esta área, el estudio de cada uno de los fenómenos que caracteriza la actividad solar es muy importante en la medida que estos fenómenos guardan una gran correlación estadística y seguramente, con las investigaciones que se realicen, una relación física muy directa y concreta.

Por esta razones, mi interés se centra en uno de estos fenómenos de la actividad solar, el estudio de las emisiones electromagnéticas en el rango de la radiación X, que se conocen como Plage de rayos X. De las observaciones de estas Plages de rayos X realizadas por los satélites OSO-5 y OSO-9 se pueden determinar temperaturas y densidades electrónicas para las regiones activas correspondientes.

CAPITULO III

INSTRUMENTACION SOLAR

III.1. INTRODUCCION.-

Para el estudio de los fenómenos de la actividad solar los países Europeos, reunidos en la Agencia Espacial Europea, E.U.de A., Canada, Japon, Rusia, Australia, etc., han diseñado numeros instrumentos para tal efecto. Uno de los observatorios solares en el mundo, en Sacramento Peak, Nuevo Mexico, fue originalmente creado para el estudio de fulguraciones. La NASA ha puesto en funcionamiento una misión espacial de gran envergadura, tal es el caso de su Solar Maximum Mission, principalmente para estudiar fulguraciones. Telescopios bases a nivel mundial realizan un patrullaje constante las 24 horas del día, a fin de observar la formación de tubos complejos de líneas enroscadas del campo magnético solar en las regiones activas que pueden presagiar una mayor fulguración.

La Administración Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos de América(NOAA) mantiene un centro de servicios del medioambiente espacial, el cual recoge diariamente información del Sol desde observaciones ópticas y de radio sobre la tierra, telescopios de rayos X en el espacio, mediciones del campo magnético y numerosas otras estaciones monitoreando la actividad solar y sus efectos.

El 10 de Octubre de 1946 el cohete alemán V-2, capturado

en la Segunda Guerra Mundial, detonó a 90 Km. sobre el desierto de White Sands, Nuevo Mexico y comenzó la edad de la astronomía espacial.

Cohetes de estas características tenían un inconveniente, su corto tiempo de vuelo sobre la atmósfera hasta caer dentro de ella.

En 1958 se inició el orbitamiento de satélites espaciales y fue entonces posible vencer el inconveniente de los cohetes, planeándose luego el desarrollo de una serie de naves espaciales llamados Observatorios Solares Orbitantes (OSO). El primero fue lanzado a comienzos de 1960, iniciando una serie de 8 naves espaciales hasta 1979, y posteriormente un OSO-9.

En 1973 la astronomía espacial recibió un gran impulso a través de la NASA mediante su misión SkyLab, el cual llevó consigo un gran telescopio solar. En realidad, el SkyLab fue la primera estación permanente en el espacio y tuvo toda una historia de aventuras desde su construcción hasta el final de su existencia.

El telescopio Monte Apolo (ATM), que fue instalado en el SkyLab contaba con 3 clases de instrumentos:

- Un coronógrafo de luz blanca.
- Varios espectrógrafos en el rango ultravioleta y el extremo ultravioleta, que operaban bajo el rango de los 3000 Å.
- Telescopio de imágenes en rayos X emitidos por el Sol, con filtro que permite transmitir solo en el rango de rayos X (menos de 60 Å), y una cámara para grabar imágenes.

Para la observación del magnetismo solar existe el "Telescopio Heliógrafo para el Estudio del Magnetismo y las Inestabilidades Solares" (THEMIS) en el Observatorio de Teide (Tenerife, Canarias); es un proyecto francés.

Así mismo, existen otros proyectos y satélites como el SOLRAD, satélites Japoneses HINOTORI, YOKHO, SOHO, Misión ULISES y la puesta en funcionamiento del mayor Telescopio Solar del Mundo con 2,4 m. de apertura (LEST), basado en la próxima nueva generación tecnológica.

SATELITE OSO - 5 .-

las universidades del Colegio de Londres y de Leicester en Inglaterra, pusieron en funcionamiento el experimento de recepción de rayos X solares a bordo del satélite OSO-5.

La figura No 9 muestra esquemáticamente los sistemas de espejos y de disección de imágenes por ranura, ambos localizados dentro de la nave espacial apuntando en dirección al Sol. Un mapa solar de rayos X con una resolución de 2 minutos de arco está compuesto por un registro rastreador de la misma nave espacial. Durante la orbita del satélite en este modo rastreador, son producidos mapas completos cada 305.7 seg. Esta parte del instrumento de UCL/Leicester es similar al espectroheliógrafo instalado en OSO-4 por el grupo AS&E (Paoline et al., 1968), sin embargo, la resolución espectral y la estabilidad han sido obtenidos en el presente experimento por el uso de un detector contador proporcional y un analizador de pulsos altos de 7 canales.

El sistema detector de espejos tiene una ventana de aluminio de 12 μ m. y un relleno gaseoso de argón (41.4 cm. Hg)

y de óxido de carbono (4.6 cm. Hg), dando una respuesta en eficiencia de detección de fotones mostrada en la fig. (10). Las fronteras de los canales del espectrómetro son marcados en el gráfico y cubren los rangos de longitud de onda de 6.8 - 20.6 Å, sin embargo la eficiencia útil es limitada por la alta opacidad del aluminio sobre alrededor de 14 Å. Un típico histograma de cuentas espectrales es obtenido de la observación de una región activa y esto es mostrado en la fig. (11).

La segunda parte de este instrumento llamado sistema de ranura, consiste en un par de ranuras paralelas, definiendo un campo de rayos en forma de abanico con 2 minutos de arco de ancho en dirección paralela a la línea de barrido del ratreador del satélite, montado en frente de una ventana de berilio, lleno con cantidades proporcionales de Kriptón y dióxido de carbono. Este sistema es operado, también en 7 canales de energía, sobre las bandas de longitud de onda de 3.2 - 9.6 Å, y su principal misión es medir la rapidez de la respuesta, necesaria para observar eventos de fulguraciones de rayos X.

La calibración en vuelo es realizada usando fuente radioactiva de Fe^{55} (6.1 Kev), observándose, sobre todos los niveles de cada sistema, una respuesta constante dentro del 2% en los 20 meses desde el lanzamiento (Enero de 1969). Den Boggende et al. (1969) han reportado efectos de envejecimiento en los contadores proporcionales llenos de gas cuando las cuentas totales exceden a 10^8 cuentas.

Mapas para el rango de longitudes de onda entre 9.6 - 11.0 Å han sido contruidos sobre una base diaria desde Julio

de 1969 y son publicados mensualmente en el Solar Geophysical Data. Particular cuidado han sido realizados para excluir datos de flares de rayos X asociados a esos mapas. Un mapa típico es mostrado en la fig, (12), junto con sus respectivas regiones en H α y de manchas solares.

Estos mapas contienen información del flujo de fuentes individuales, así como estructuras de intensidad (distribución de isofotas). intensidad pico (core de la plage X), forma y área, dandonos también información de su evolución relacionada con otras características de la actividad solar.

CAPITULO IV

MODELO DE RADIACION X CORONAL DEL SOL.

IV.1 INTRODUCCION.-

El análisis del flujo solar de rayos X dentro del rango de 0 a 20Å ha mostrado que el flujo en etapas de no fulguración tiene una variación con escala de tiempo de varias horas o días; mucho más que el tiempo requerido para que el plasma coronal local logre un equilibrio cinético. Bajo estas circunstancias, es apropiado hablar de la temperatura T_i de una región del plasma en el sentido que los electrones han alcanzado una distribución maxwelliana de velocidades correspondientes a T_i y que los varios elementos tendran un grado de ionización determinado por la misma temperatura T_i .

Hay 3 componentes para la radiación coronal termal:

- 1) Transiciones libre-libre de electrones en el campo de iones positivos, o la emisión termal bremsstrahlung (I_{ff}).
- 2) Una componente libre-ligado debido a la recombinación de electrones con los iones pesados del plasma coronal (I_{fg}).
- 3) Líneas de emisión (I_l).

Las primeras 2 componentes dan la radiación continua. En la

fig. (13) se muestran los espectros teóricos de rayos X para diferentes valores de T_i , y han sido calculados usando el trabajo de Culhane (1969).

IV.2. RADIACION LIBRE-LIBRE.-

La intensidad de emisión libre-libre o Bremsstrahlung, de frecuencia ν Hz. por unidad de volumen de plasma, por segundo, por unidad de intervalo de frecuencia, esta dado por:

$$I = h\nu \sum_z N_z N_e \int_0^{\infty} d\sigma(\nu) f(\nu) d(\nu) \quad \text{erg.cm}^{-3}\text{s}^{-1} \quad (13)$$

donde N_z es el número de iones de carga z y N_e es el número de electrones por unidad de volumen, $d\sigma(\nu)$ es la sección eficaz para la producción de un fotón de frecuencia ν por un electrón de velocidad v , $f(\nu)$ es la función de distribución de Maxwell para velocidad v y h es la constante de Planck.

Brussard y Van de Hults (1962) han discutido la precisión de varios formalismos no relativísticos para el cálculo del flujo Bremsstrahlung del plasma maxwelliano. Siguiendo su tratamiento el flujo por unidad de volumen de la corona solar, a la distancia terrestre, puede ser escrito como:

$$\eta_{ff} = 7.15 \cdot 10^{-50} N_e \sum_z N_z z^2 \exp \left[- \frac{143.89}{\lambda T} \right] \frac{\bar{g}(z, T, c/\lambda)}{T^{1/2} \lambda^2} d\lambda$$

erg.cm.⁻²s⁻¹Å⁻¹. (14)

donde λ es la longitud de onda del fotón en amstrongs, T es la

temperatura electrónica en unidades de 10^6 °K y $\bar{g}(z, T, c/\lambda)$ es el peso promedio del factor libre-libre de Gaunt $g(z, E, c/\lambda)$, un factor que expresa la diferencia entre la sección eficaz clásico y cuántico para el proceso libre-libre.

Este peso promedio es obtenido por integración sobre la distribución maxwelliana como se muestra en la ecuación

siguiente:

$$\bar{g}(z, T, c/\lambda) = \exp\left[\frac{hc}{\lambda kT}\right] \int_{hc/\lambda}^{\infty} g(z, E, c/\lambda) \exp\left[-\frac{E}{kT}\right] \frac{dE}{kT} \quad (15)$$

En esta ecuación, E es la energía del electrón y k es la constante de Boltzman.

En la corona solar, la principal contribución para el flujo libre-libre es del hidrógeno y helio, con pequeñas contribuciones de algunos otros elementos.

Siguiendo a Hovenier (1966), re-escribimos la ecuación para η_{ff} en la forma:

$$\eta_{ff} = \sum_Z F(z, T, \lambda) N_z N_e \lambda^2 d\lambda \quad (16)$$

donde:

$$F(z, T, \lambda) = 7.15 \cdot 10^{-50} \exp\left[-\frac{143.89}{\lambda T}\right] \frac{\bar{g}(z, T, c/\lambda)}{T^{1/2} \lambda^2} \quad (17)$$

entonces podemos escribir para una mezcla de elementos

$$\eta_{ff} = F(1, T, \lambda) N_1 N_e \left[1 + \sum_Z \frac{\bar{g}(z, T, c/\lambda)}{\bar{g}(1, T, c/\lambda)} \lambda^2 \frac{N_z}{N_H} \right] d\lambda. \quad (18)$$

donde N_1 es el número de iones de hidrógeno por unidad de

volumen.

El valor numérico del término entre corchetes dependerá de los valores de abundancia de elementos que son usados.

V.2. RADIACION LIBRE-LIGADO.-

Cuando un electrón libre, de energía E , es capturado por el estado de frontera de un ión, emite un fotón

de frecuencia:

$$\nu = \frac{E + X_n}{h} \quad (19)$$

donde X_n es el potencial de ionización del electrón después de la captura y n es el número cuántico principal del nivel hacia el cual el electrón ha sido capturado.

En este proceso la energía del fotón es función sólo de la energía del electrón. En consecuencia, sólo los fotones de energía mayor que X_n pueden resultar de recombinaciones que llevan el nivel n -ésimo. Esto causa discontinuidades o límites de recombinación característicos en el espectro libre-ligado emitido para elementos hidrogenoides (con $z < 3$). El flujo, en unidades de volumen de la corona solar, visto en la Tierra, puede ser escrito:

$$\eta_{fB} = 6.01 \cdot 10^{-53} N_1 N_e \exp \left[-\frac{143.89}{\lambda T} \right] \sum \frac{N_{EL}}{N_1} \sum \frac{N_{i+1}}{N_{EL}} \frac{G d\lambda}{\lambda^2 T^{3/2}}$$

ELEMENTO ESTADO DE
IONIZACION

$$\text{erg.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}.\text{\AA}^{-1}. \quad (20)$$

donde :

$$G = \sum_{n=n_0}^{\infty} \frac{\rho_n X_{i,n}}{n} \exp \left[-\frac{0.012 X_{i,n}}{T} \right] g(z, n, c/\lambda). \quad (21)$$

aquí

ρ_n es el número de posiciones en el n-ésimo nivel, libre listos para ser ocupados por el electrón capturado.

$X_{i,n}$ (eV) es el potencial de ionización del electrón en el n-ésimo nivel de un ión con estado de ionización i.

$g(z, n, c/\lambda)$ es el factor de Gaunt para el proceso libre - ligado.

N_{EL}/N_1 es la abundancia relativa al hidrógeno a una temperatura dada.

N_{i+1}/N_{EL} es la fracción de un elemento en el estado de ionización (i+1)-ésimo.

Para cada ión, las contribuciones para el flujo libre-ligado debido a la captura de electrones para todos los niveles son incluidos dentro de la ecuación (21). Aquí el nivel n_0 es el menor para el cual la recombinación está permitida. Para cada elemento, la sumatoria de la ecuación (20)

$$\sum \frac{N_{i+1}}{N_{EL}}$$

incluyen todos los estados de ionización que tienen una abundancia significativa a una temperatura dada.

Generalmente se toman valores mayores que $3 \cdot 10^{-4}$ para la relación N_{i+1}/N_{EL} en los cálculos (J.L. Culhane 1969).

Valores del factor $g(z,n,c/\lambda)$ son obtenidos de los trabajos de Karzas y Latter.

Según el trabajo de Sengupta (1970), que utiliza la fórmula de Burgess (1955) para la elaboración del espectro de rayos X teórico, se incluye los procesos de recombinación dielectrónica en el equilibrio de ionización. Además se usaron abundancias tabuladas por Allen.(1976).

En la figura (13) $I(\lambda)$ puede ser convertido a intensidad de R-X, observados desde la Tierra, en longitud de onda λ según la relación :

$$F(T_i, \lambda) = I(\lambda) Y(T_i). \quad (22)$$

donde $Y(T_i)$ es la medida de emisión de la región emitente a la temperatura T_i y está dado por:

$$Y(T_i) = \int \eta_{ei}^2 dV_i \quad (23)$$

donde η_{ei} es la densidad electrónica, y la integral esta tomado sobre el volumen que está a la temperatura T_i . Las unidades de $F(T_i, \lambda)$ son $\text{erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ \AA}^{-1}$.

Considerando las tres componentes de la emisión termal $I(\lambda)$ tenemos:

$$I(\lambda) = I_{ff}(\lambda) + I_{fg}(\lambda) + I_L(\lambda). \quad (24)$$

I_{ff} es mostrada como una curva punteada en la fig(13).

El flujo total $F(\lambda)$ de todo el disco solar es obtenido adicionando la contribución de todas las regiones emitenes y está dado por:

$$F(\lambda) = \sum_{i=1}^n F_i(\lambda, T) = I_1(\lambda) \int \eta_{e1}^2 dV_1 + I_2(\lambda) \int \eta_{e2}^2 dV_2 + \dots + I_n(\lambda) \int \eta_{en}^2 dV_n$$

$$(25)$$

El espectro captado por el satélite OSO-5 corresponde a longitudes de onda entre 8.4 y 9.6 Å, que contienen líneas de R-X debido a MgXII en 8.4Å y a MgXI entre 9.1Å y 9.4Å.

Las contribuciones para este rango corresponden especialmente a las transiciones libre-libre y libre-ligado (Culhane 1969). Las contribuciones del MgXI y MgXII son estimados usando una aproximación de \bar{g} para la excitación colisional (J.H.Parkinson et al, 1971).

Del trabajo de Evans y Pounds (1968), tenemos que la intensidad incidente, en la línea resonante, para mediciones sobre la atmósfera terrestre para el espectro de emisión de rayos X de una región activa solar es:

$$E(\text{erg cm}^{-2} \text{s}^{-1}) = 8 \times 10^{-43} \bar{g} f A_z G(T_e) N_e^2 dV \quad (26)$$

donde:

\bar{g} es el factor promedio de Gaunt, tomado como 0.3

A_z es la abundancia coronal, tomado como 3×10^{-5} para el Mg.

f es la fuerza del oscilador, cuyos valores son:

$$0.7 \text{ para MgXI } 1s^2 \ ^1S_0 - 1s \ 2p \ ^1P_1$$

$$0.42 \text{ para MgXII } 1s \ ^2S_0 - 2p \ ^2P_{1/2,3/2}$$

$G(T_e)$ relaciona la eficiencia de producir una línea de emisión de energía $h\nu$ para la temperatura del electron T_e , y está dado por :

$$G(T_e) = T_e^{-1/2} A_{zi} \exp\left\{-\frac{h\nu}{kT_e}\right\} \quad (27)$$

donde A_{zi} es la abundancia fraccional del elemento z en el estado i -ésimo de ionización (Jordan 1969).

J.H.Parkinson y K.A.Pounds (1971) hacen un estudio para este canal de 8.4-9.6 Å y toman la suma de las líneas prohibidas de intercombinación del MgXI igual a la línea de resonancia, a sugerencia de Batstone et.al. (1970), para encontrar la fracción de emisión debido a la línea de emisión del Mg; obteniendo los datos mostrados en la tabla 1.

En la ecuación (26) $N_e^2 dV$ representa el "tamaño efectivo" de la región activa, donde asumiendo que la densidad electrónica es constante sobre la región activa de área A y profundidad h , tenemos que:

$$dV = h \cdot dA \quad (28)$$

y empleando los valores observados y medidos podemos encontrar los valores de la densidad electrónica de las regiones a estudiar, para una profundidad de 10^5 Km.

CAPITULO V

TRATAMIENTO DE LOS DATOS

V.1. INTRODUCCION.

Para el propósito de este trabajo de Tesis utilicé los datos publicados en el Solar Geophysical Data referentes a:

- a) espectroheliogramas de los satélites OSO-5 y OSO-9,
- b) datos de las regiones de actividad solar correspondientes a manchas solares,
- c) emisiones en 9.1 cm. y 21 cm.

Estos datos calculados y ordenados se muestran en la tabla 2.

Los espectroheliogramas usados corresponden a emisiones solares en el rango de 8.4-10.5 Å, bajo condiciones de ausencia de fulguraciones. En estas condiciones los espectros corresponden a la línea de emisión de los iones de MgXI y MgXII.

Las regiones activas corresponden a periodos de observación desde 02 de Noviembre de 1970 al 29 de Octubre de 1973., de los cuales se seleccionaron 185 regiones activas que cumplieron con los siguientes requisitos:

- a) Regiones activas que tengan información completa de espectroheliogramas de R-X, emisión en 9.1 cm., 21 cm., tipo de mancha solar asociada, área de mancha solar y región activa.
- b) Regiones alejadas del limbo solar.

Según estos criterios, seleccioné un total de 187 regiones activas, obteniendo la clasificación, de acuerdo al tipo de Zurich, mostrada en la tabla 3

V.2. TRATAMIENTO DE LOS DATOS.-

V.2.1. De la isofotas de R-X.

Cada isofota de una región de R-X nos da información del flujo f_k , el área A_k y la forma. A la isofota k -ésima le corresponde los valores de flujo $f_k = 0, 2, 5, 10, 15, 20 f_u$ y posteriores en intervalos de $10 f_u$, para $u=3, 4, 5, 6, \dots$ respectivamente, esto para los datos del satélite OSO-5; para los datos del satélite OSO-9 los valores de $f_k = 5, 10, 20, 40, \dots$ y posteriores en progresión geométrica de razón 2.

El flujo se da en unidades de $10^{-6} \text{ erg.cm}^{-2}.\text{s}^{-1}$. y cada valor de f_k da el flujo proporcionado por el ángulo sólido de 4.6 min-arco^2 según el espejo del instrumento de medida.

Para medir las áreas de cada isofota seguí las sugerencias del Dr. J.Kleczec (1976). En primer lugar hice una copia en papel transparente de cada espectroheliograma, luego proyecte la copia sobre un papel blanco con una ampliación hasta obtener un diametro del disco solar de 330 mm., siendo el diametro original de 60 mm. Las áreas de estas ampliaciones fueron medidas con un planímetro (en mm^2) y convertidas a ángulos sólidos (en minutos de arco 2) por un factor de conversión de $9.425 \cdot 10^{-3} \text{ min-arc}^2.\text{mm}^{-2}$.

Se considera el área de la primera isofota A_1 como el área de toda la plage de Rayos X y es denotada por A_x ($A_x=A_1$).

De los valores de f_k y A_k determinados, se realizó el cálculo de los valores del flujo total F_x para cada plage de Rayos X, donde: (Fig 14)

$$F_x = \sum_k \frac{A_k \text{ (mm}^2\text{)} [f_k - f_{k-1}] 10^{-6} \text{ (erg.cm}^{-2} \text{ s}^{-1}\text{)} (\text{min-arc}^2)}{4.6 \text{ (min-arc}^2\text{)} 106.1 \text{ (mm}^2\text{)}} \quad (29)$$

$$F_x = K \sum_k A_k [f_k - f_{k-1}] = \quad (30)$$

donde A_k es el área medida en mm^2 y f_k es el flujo para la isofota k-ésima según el Solar Geophysical Data ($f_0=0$, $f_1=2$, $f_3=5$, ... para datos de OSO-5 y $f_0=0$, $f_1=5$, $f_2=10$, $f_3=20$, ... para datos de OSO-9). La sumatoria es trabajada sobre todas las isofotas que aparecen en cada plage de Rayos X. Para la ampliación realizada el valor de K es de $2.050 \cdot 10^{-9} \text{ erg.cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

V.2.2.Cálculo de Temperatura y densidades electronicas.

De las ecuaciones (26) y (27) relacionamos la función de emisión para las intensidades de línea del Mg XI y MgXII de la siguiente forma:

$$\frac{G(T_e)_{\text{XI}}}{G(T_e)_{\text{XII}}} = \frac{E_{\text{XI}} f_{\text{XII}}}{E_{\text{XII}} f_{\text{XI}}}, \text{ donde: } \begin{matrix} f_{\text{XI}} = 0.7 \\ f_{\text{XII}} = 0.42 \end{matrix}$$

los valores de E para el MgXI y MgXII son obtenidos de los trabajos de R.M.Batstone et al.(1970), cuyos valores son:

$$E_{\text{XI}} = 11.1 \times 10^{-5} \text{ erg.cm}^{-2} \text{ s}^{-1}.$$

$$E_{\text{XII}} = 3.8 \times 10^{-5} \text{ erg.cm}^{-2} \text{ s}^{-1}.$$

Con estos valores obtenemos la siguiente relación:

$$G(T_e)_{XI} = 1.7526 G(T_e)_{XII}$$

reemplazando en la ecuación (27) de función de emisión, determino la temperatura electrónica para la zona de producción de MgXI y MgXII de la corona solar. Siendo este valor igual a $T_e = 3'423,025^{\circ}K$.

Con los valores de flujos y temperatura electrónica obtenidos, determino las densidades electrónicas para cada plage de rayos x. Los resultados de estos cálculos están dados en la tabla (2) para cada plage de rayos x, incluyendo la información dada por el Solar Geophysical Data.

Los gráficos (1) y (2) muestran los detalles de los resultados obtenidos.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

Encontramos que sobre complejos de actividad solar, la temperatura calculada (3×10^6 K) corresponde a la zona de la corona baja, siendo esta temperatura capaz de ionizar al Mg (MgXI y MgXII), que son los principales responsables por la radiación y formación de plagas de rayos X.

Del gráfico 1 encontramos una relación directa entre tipos de manchas solares asociadas con plagas de rayos x y las densidades electrónicas (Ne) de las mismas, vemos que para regiones activas más evolucionadas (tipo E, F) la concentración de electrones es mayor que para otros tipos de manchas solares. Una explicación para que este fenómeno se produzca está en la configuración magnética sobre las manchas solares. En las de tipo E y F los tubos magnéticos alcanzan su máximo desarrollo, congelando el plasma y aumentando la concentración de electrones. Esta variación de Ne es independiente de la altura a la cual se produce la plage de rayos x, que podría ser la alta cromósfera o baja corona, lo esencial es que la temperatura es del orden de los millones de grados Kelvin.

Relacionando los tipos de manchas solares con emisiones en 9.1 y 21 cm la relación encontrada muestra que para tipos más evolucionados de manchas solares corresponde mayor emisión en estas frecuencias (gráfico 2), que corrobora el

resultado anterior.

Existe mucho interés científico en la determinación observacional de las densidades electrónicas en la atmósfera solar. Esta información es utilizada para la elaboración de modelos teóricos que traten de explicar mejor el comportamiento y los mecanismos de producción de explosiones solares. En este trabajo el valor promedio encontrado para la densidad electrónica es del orden de 10^{10} e-/cc., valor que indica una zona plasmática de aceleración de partículas y posible lugar de disparo de las explosiones solares (fase impulsiva de una explosión).

Establezco un método para la determinación de la temperatura y densidades electrónicas de regiones activas solares en forma indirecta, lo cual sirve también para la determinación de otras características físicas de la atmósfera solar utilizando otros elementos como fuentes de emisión, como son el fierro ionizado, neón ionizado, oxígeno ionizado.

Las fuentes de error en la determinación de la temperatura y densidades electrónicas, se inician en el mismo instrumento de medida de los flujos de energía, de los satélites OSO-5 y OSO-9; también se encuentran en los cálculos de las áreas de las plagas de rayos x y en la determinación de las energías correspondientes de estas plagas. Pero hacer un análisis detallado para la determinación de los errores o límites de confianza de los valores obtenidos no tendría sentido, debido al hecho de que los valores de temperatura y densidades electrónicas encontrados son observacionales indirectos y de órdenes de magnitud en la cual un factor doble no va a alterar el significado físico del proceso estudiado.

Así por ejemplo, si obtenemos un valor de 4×10^{10} con un error del 90%, que es muy exagerado, el intervalo de confianza estaría entre 4×10^9 y 7.6×10^{10} , donde los ordenes de magnitud del proceso siguen dentro de lo previsto.

Finalmente quisiera resaltar que los valores obtenidos, utilizando estas fuentes de radiación (Mg ionizado), por el método empleado concuerda con los valores encontrados por otros autores para estas zonas de producción de explosiones solares y estudiados en otros rangos de frecuencia, en particular, en emisiones en radiofrecuencias.

BIBLIOGRAFIA

1. Allen, C.W.:1975, *Astrophysical Quantities*, 3era Ed. Rev.
2. Baltazar et al., 1986, *Astron. Astrophys.*: 155, 87.
3. Batstone, R.M. et al., 1970, *Solar Physics.*:13, 389.
4. Brussard and Van de Hults, 1962, *Rev. Mod. Phys.*:34, 507.
5. Bumba V. and Howard, R.:1965, *Astrophys.J.*: 141, 502.
6. Burgess, A.,1965, *Astrophys.J.*: 1941, 1588.
7. Culhane, S.L., 1969, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*: 144, 375.
8. Den Boggende et al., 1969, *J. Scient.Instrum.* (2), 701.
9. Evans, K. And Pounds, K.A., 1968, *Astrophys. J.*: 152, 319.
10. Gabriel et al., 1976, *Proc. Phys. Soc.*: 87, 825.
11. Hovenier, 1966, *Bull. Astr. Insts Neth.*: 18, 185.
12. Jordan, C., 1969, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*: 1942, 501.
13. Karzos and Latter, 1961, *Astrophys.J. Suppl. Ser.*: 6, 167.
14. Keenan, F.P., 1994, *Solar Physics.*:149. 301.
15. Kleczec, J. and Ruzickova Topolová, B., 1976, *Bull. Astron. Inst. of Czech.*, 27, 77.
16. Leighon Robert, 1964, *Astrophys.J.*: 135, 474.
17. Noyes Robert W., 1982, *The Sun, Our Star.*
18. Paoline et al., 1968, *Astron.J.*: 73, 573.
19. Parkinson J.H. and K.A. Pounds, 1971, *Solar Phys.*: 17, 146, 159.
20. Pottasch, S.R., 1964, *Space Sci. Rev.*: 3, 816.
21. Sengupta, P.R., 1971, *Solar Phys.*: 17, 160.
22. *Solar Geophysical Data.*: 1970-1973.

LISTA DE FIGURAS

1. FIGURA 1.- MODELO DEL INTERIOR SOLAR
2. FIGURA 2.- GRANOS Y SUPERGRANULOS SOLARES.
3. FIGURA 3.- SUBDIVISION DE LA CROMOSFERA
4. FIGURA 4.- EXPANSION DE LOS FLUJOS MAGNETICOS
5. FIGURA 5.- RED DE CROMOSFERA CALMA
6. FIGURA 6.- TEMPERATURA vs. ALTURA EN LA ATMOSFERA SOLAR
7. FIGURA 7.- EVOLUCION DE UNA FULGURACION SOLAR
8. FIGURA 8.- RELACION SOL-TIERRA.
9. FIGURA 9.- ESQUEMA DEL RASTREADOR E IMAGENEADOR DE R-X DEL
OSO-5.
- 10.FIGURA 10.- DIAGRAMA DE EFICIENCIA DE LOS CANALES DE OSO-5
- 11.FIGURA 11.- HISTOGRAMA ESPECTRAL.
- 12.FIGURA 12.- MAPAS DE UN ESPECTROHELIOGRAMA DE R-X , ASOCIADO A
MANCHAS SOLARES Y MAPA EN $H\alpha$.
- 13.FIGURA 13.- ESPECTRO TEORICO DE R-X

LISTA DE TABLAS

1. TABLA 1.- FLUJOS DE EMISION PARA EL Mg XI Y MgXII (Parkinson & Pounds, 1971).
2. TABLA 2.- TABLA DE REGIONES ACTIVAS Y SUS CORRESPONDIENTES VALORES DE DENSIDADES ELECTRONICAS ENCONTRADAS.
3. TABLA 3.- CLASIFICACION DE LOS DATOS DE ACUERDO AL TIPO DE ZURICH DE MANCHAS SOLARES.

LISTA DE GRAFICOS

1. GRAFICO 1.- DENSIDAD ELECTRONICA vs. CLASIFICACION DE ZURICH
- 2.- INTENSIDADES PICO EN 9 Y 21 cm. Vs. CLASIFICACION DE ZURICH

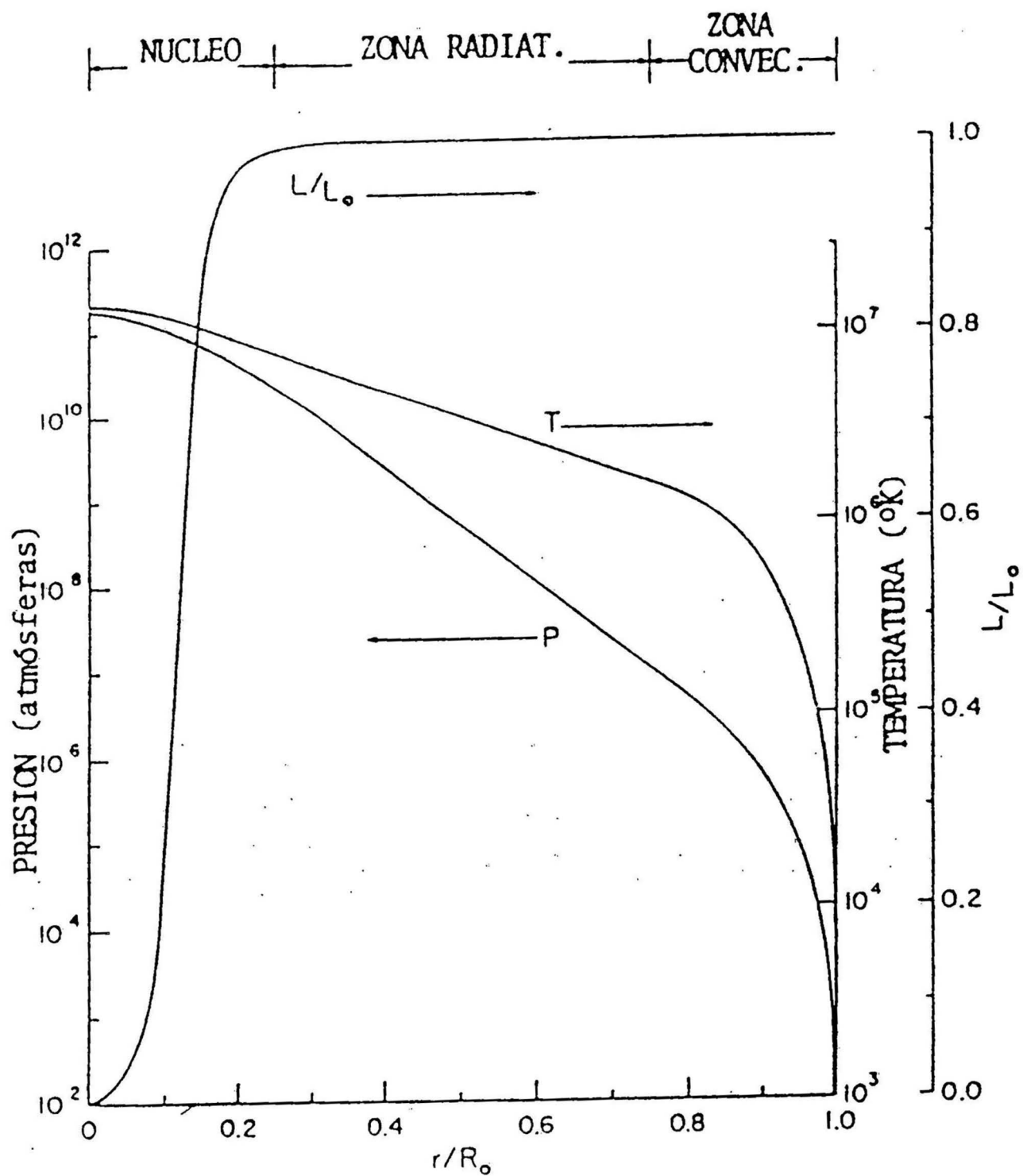


Fig. 1

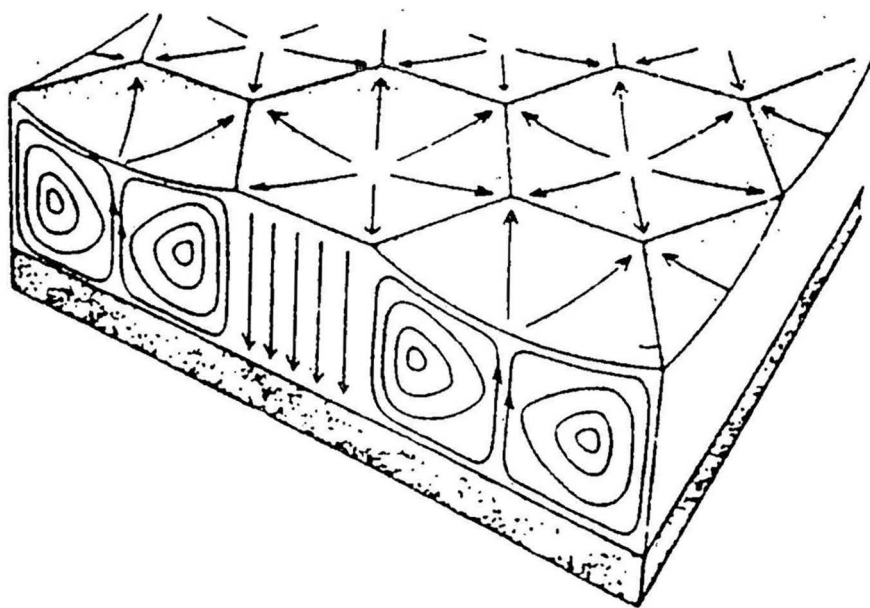
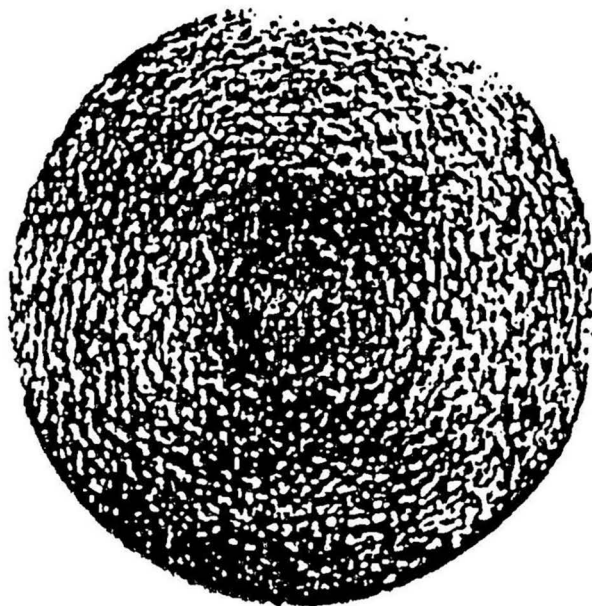


Fig. 2

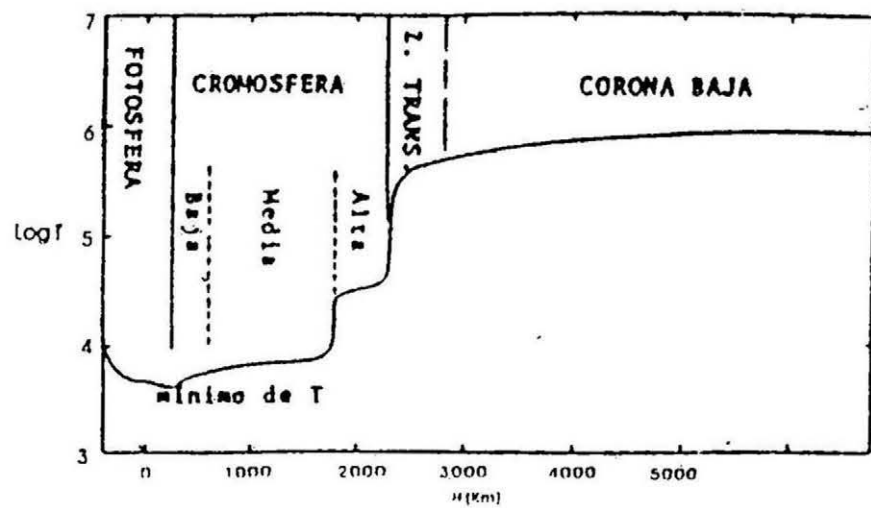


Fig. 3

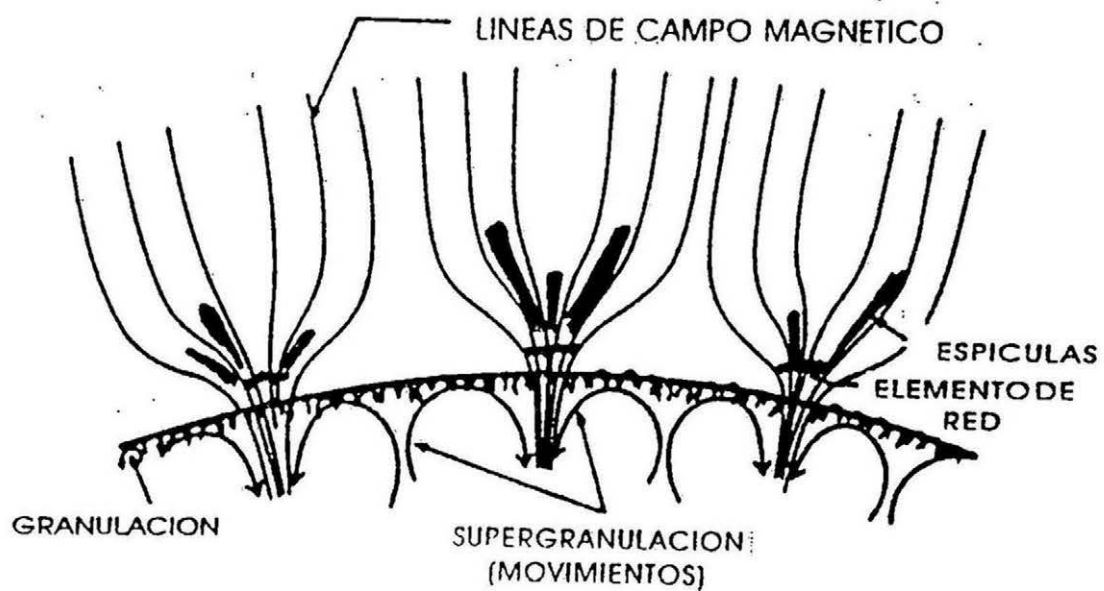
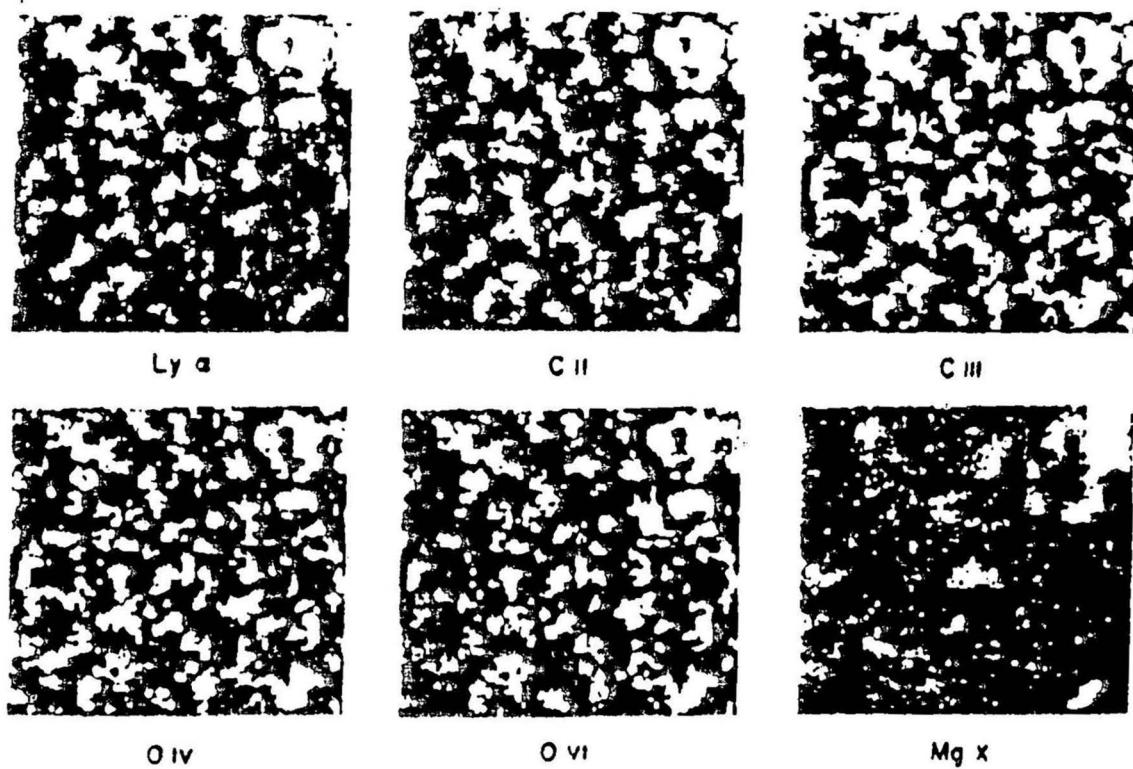


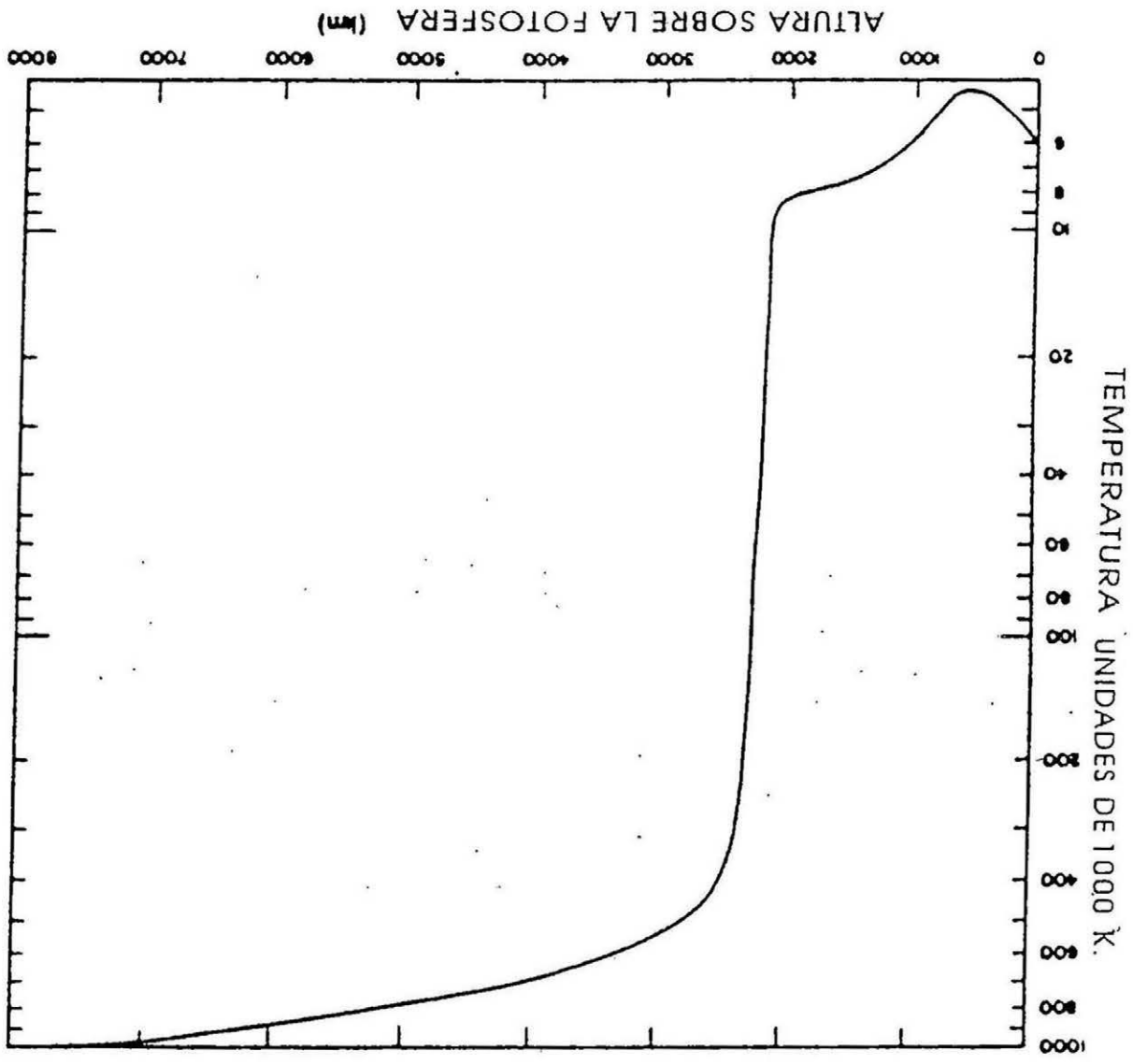
Fig. 4



RED DE CROMOSFERA CALMA
AGO 13, 1973 16:00 UT

Fig. 5

Fig. 6



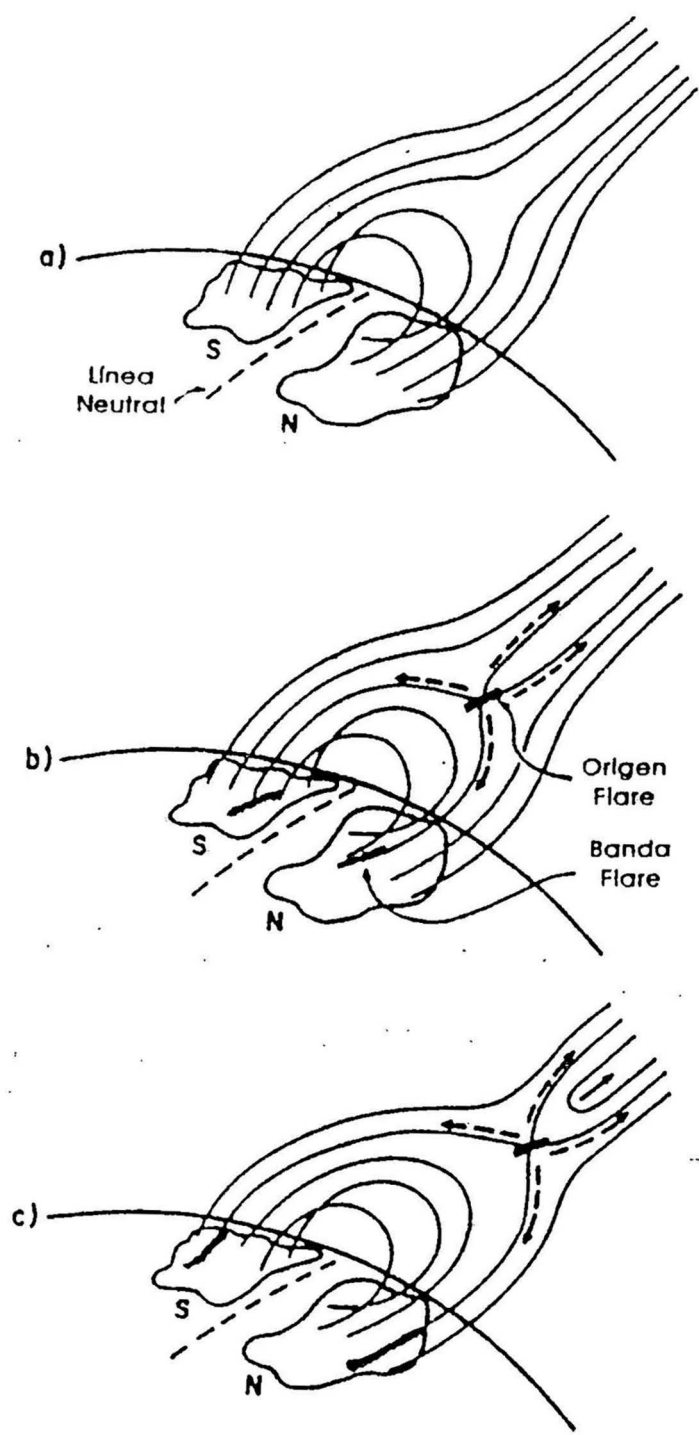


Fig. 7

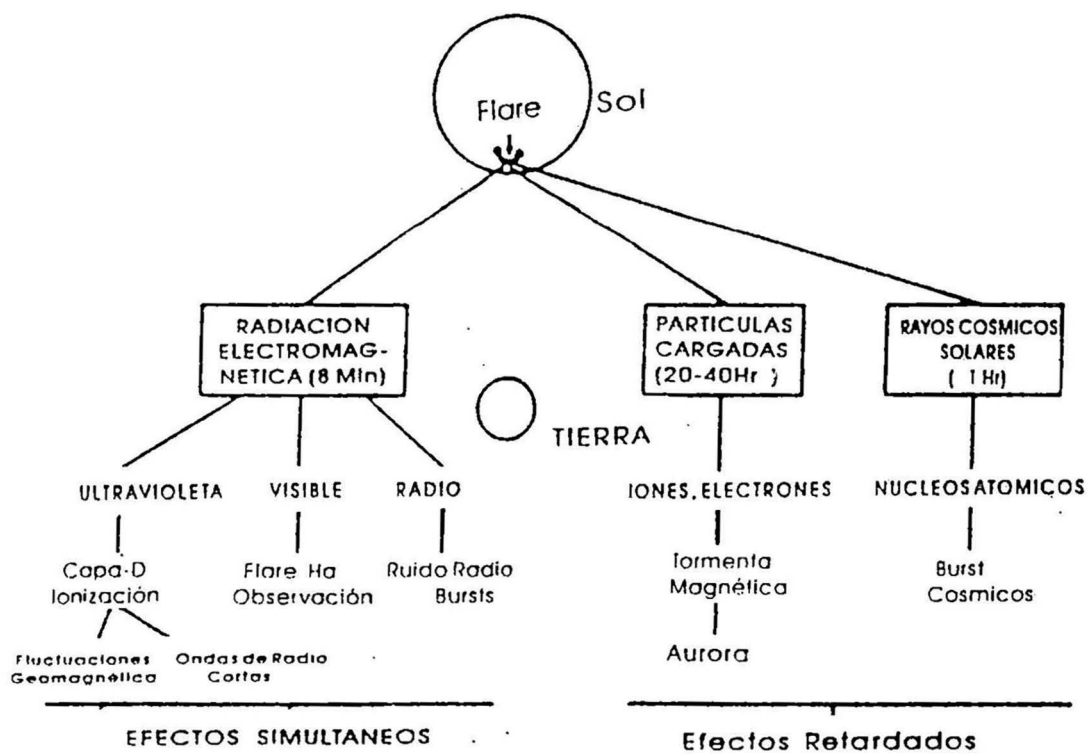


Fig. 8

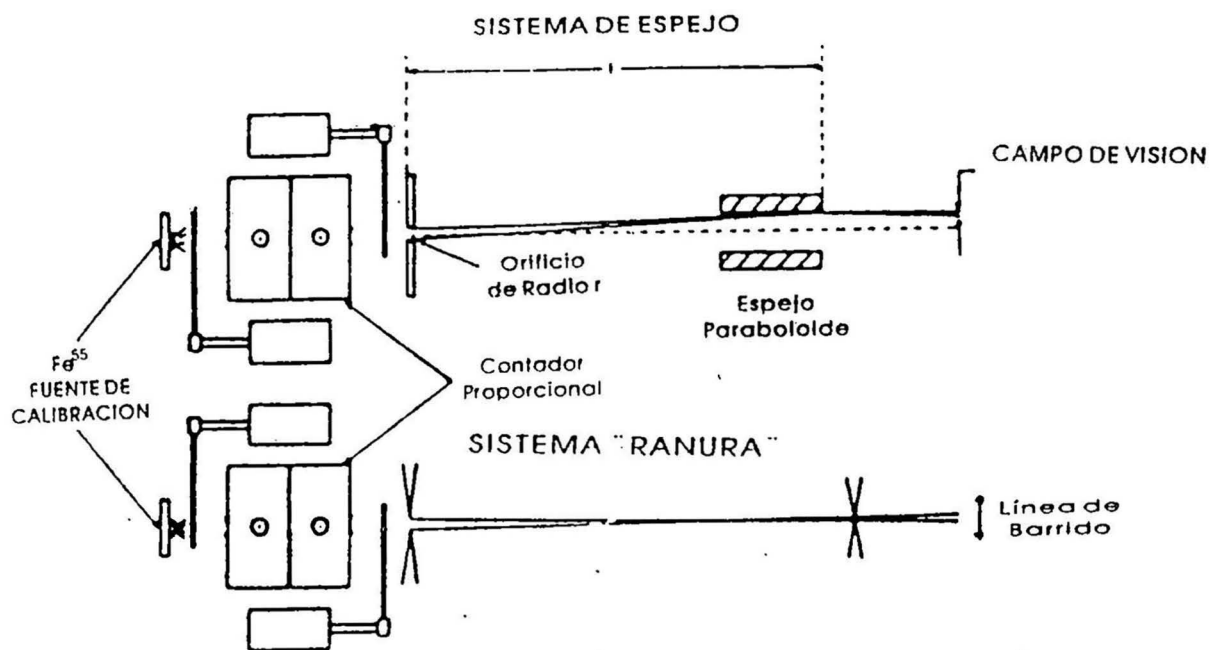


Fig. 9

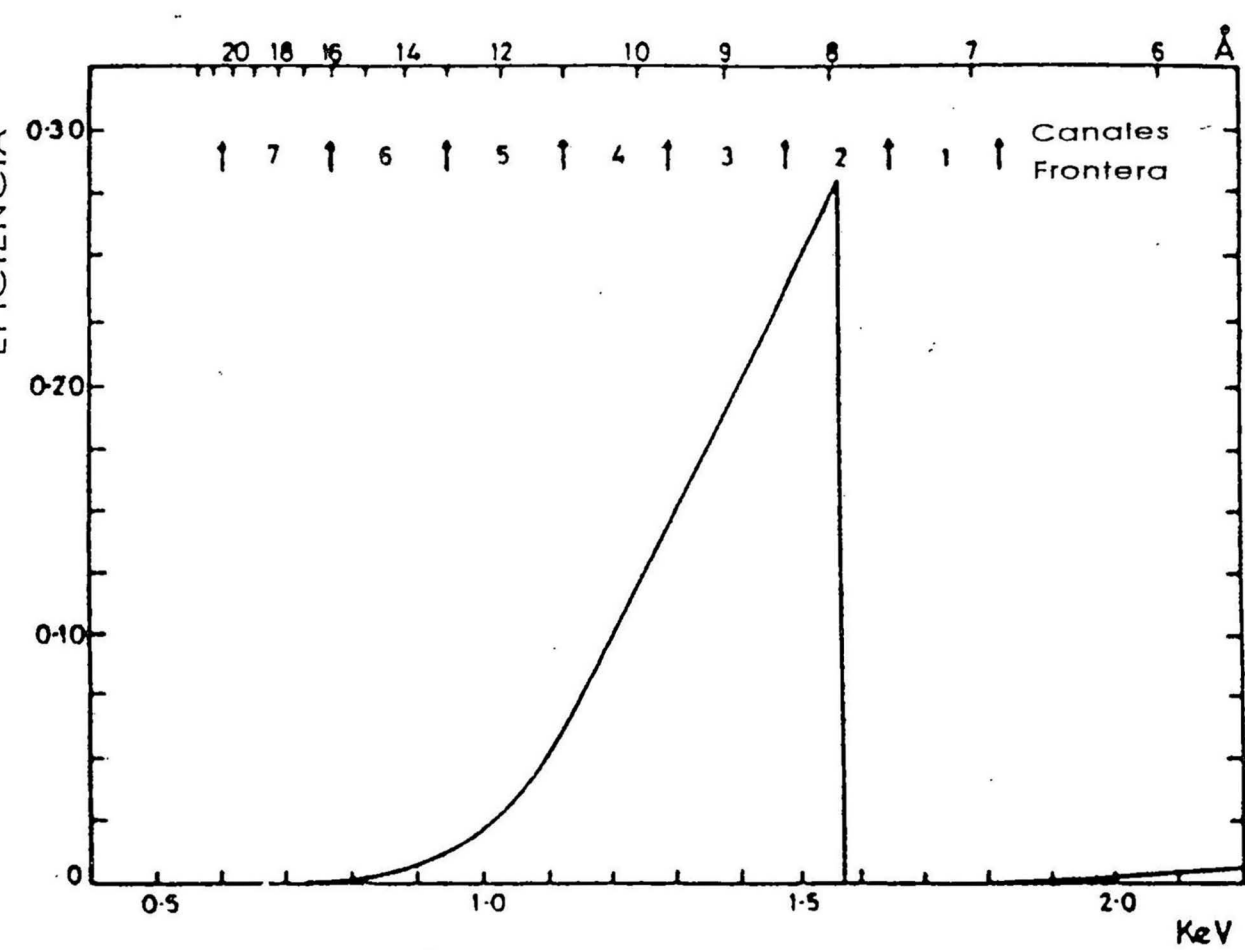


Fig. 10

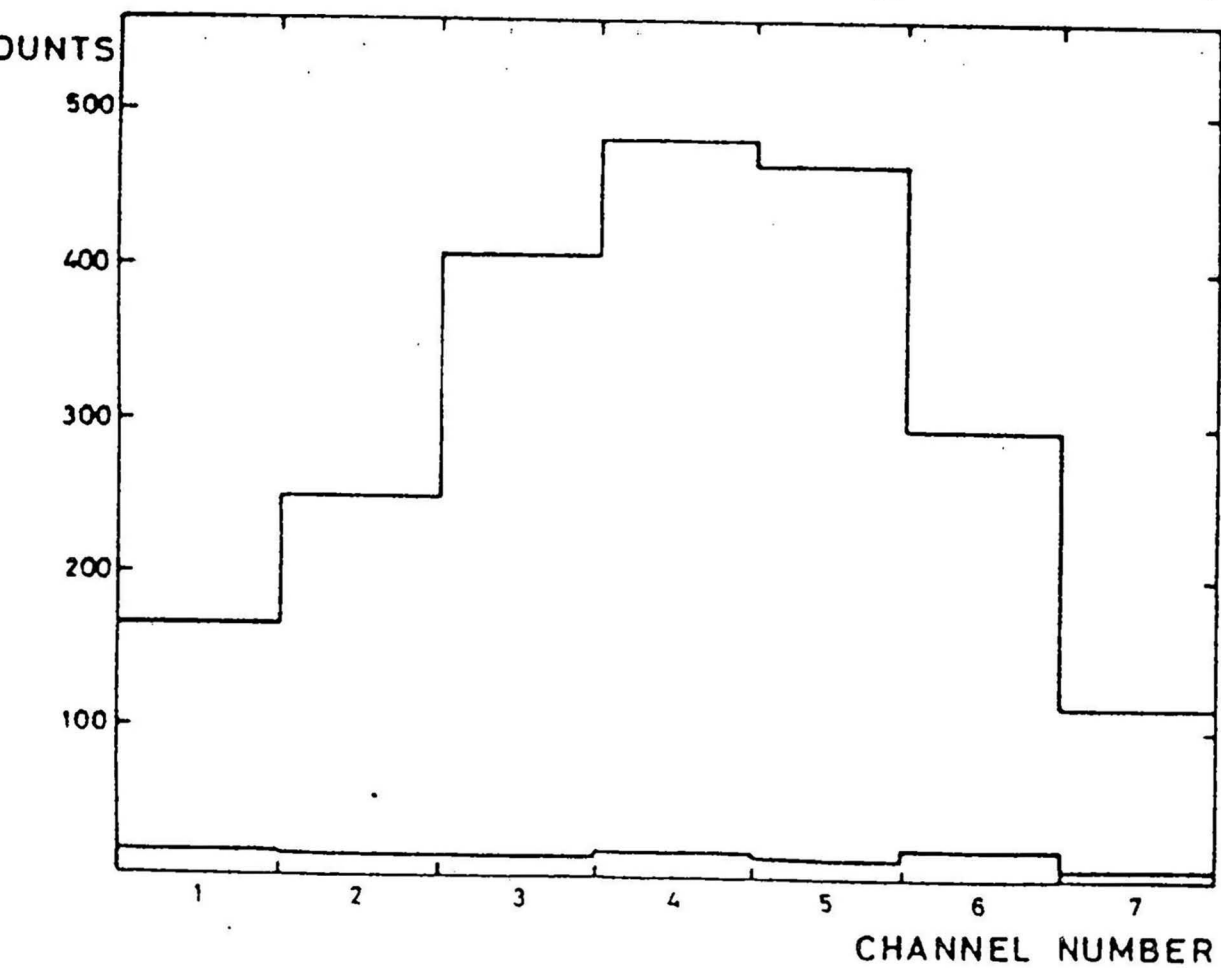


Fig. 11

UNIV. COLLEGE LONDON
LEICESTER UNIV.

X-RAY
OSO-5

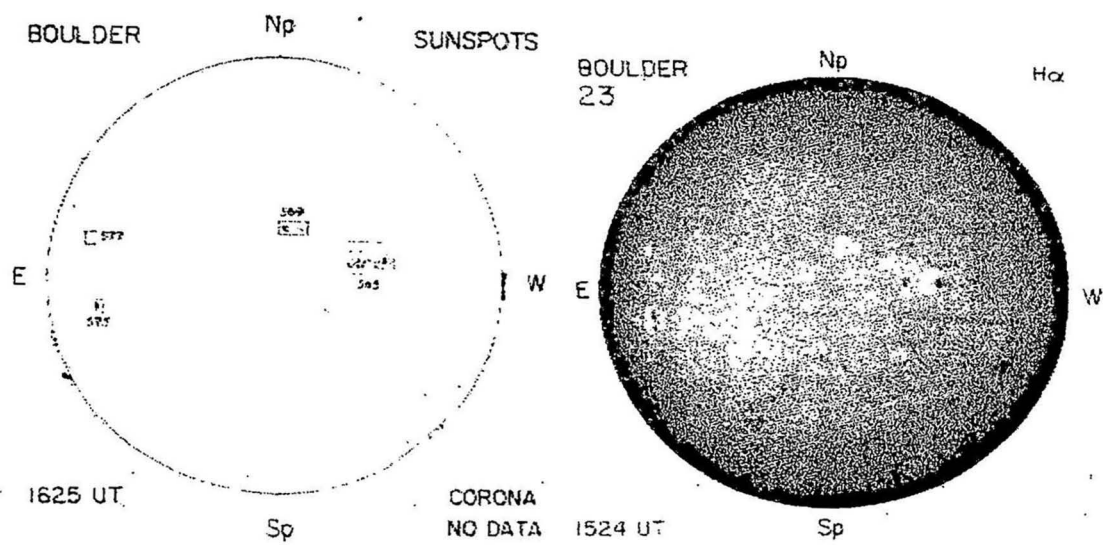
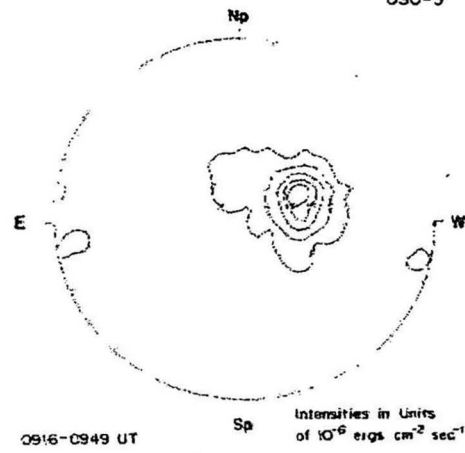


Figura 12

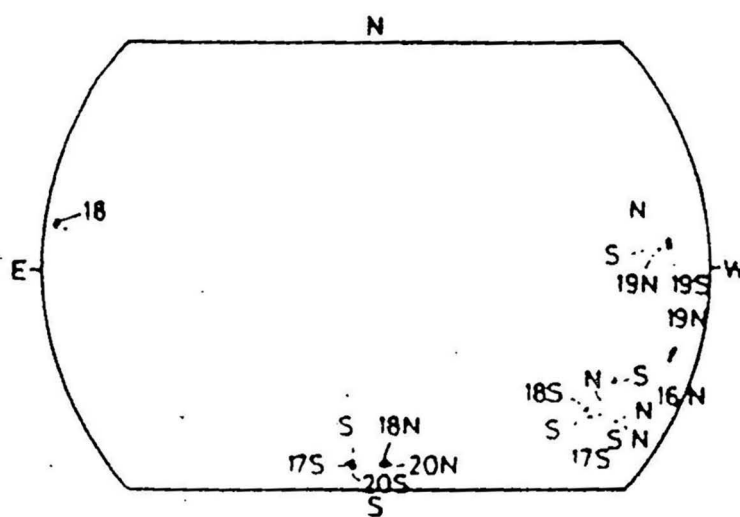
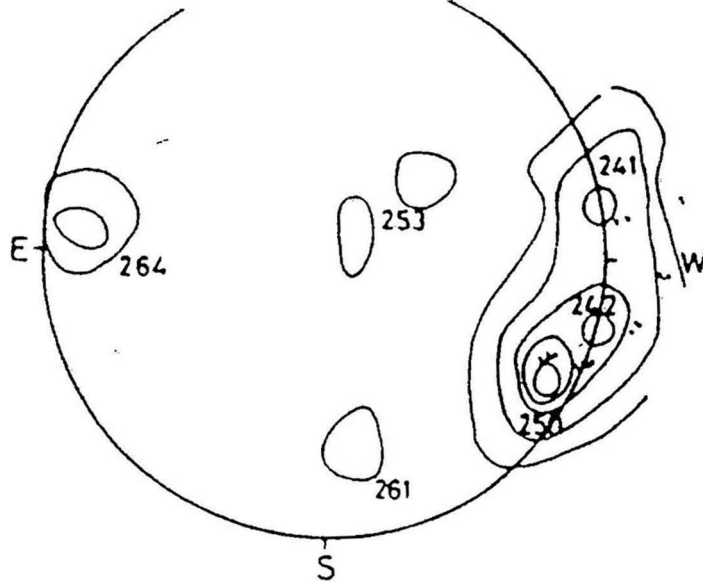
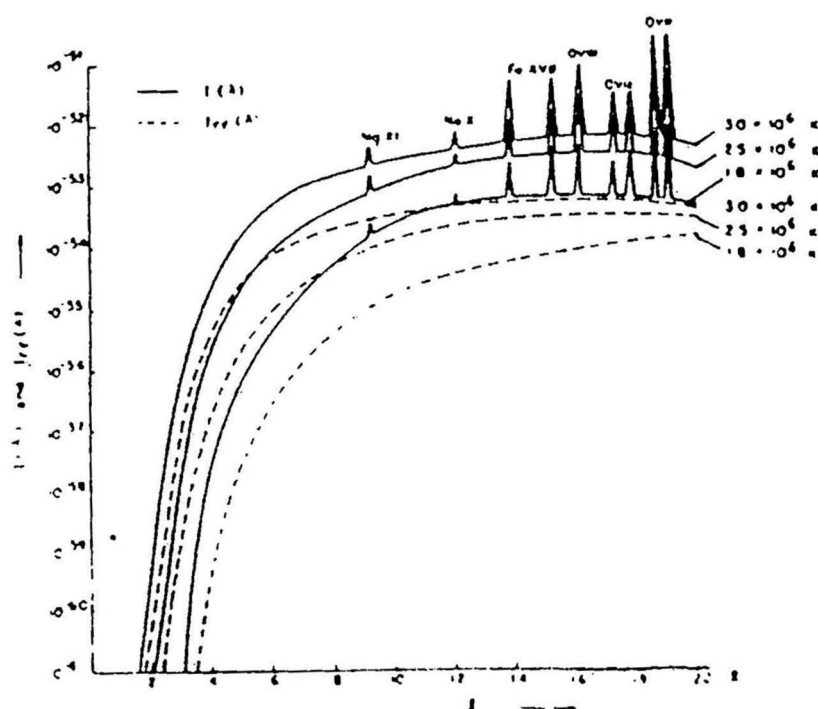


Fig. 12



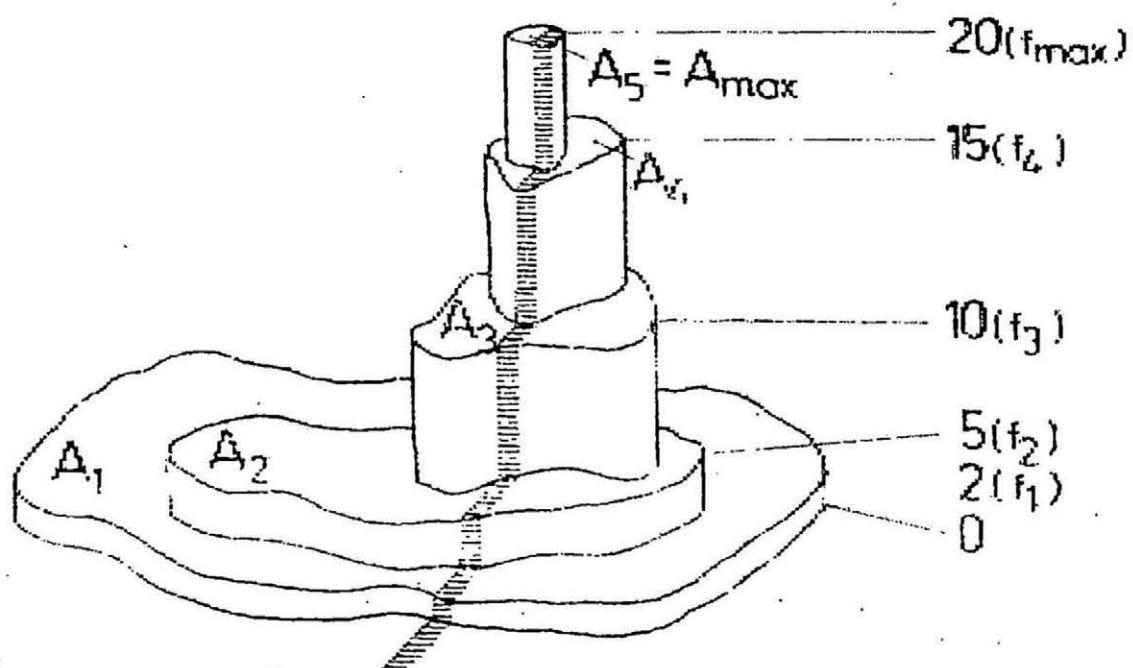


Figura 14

TABLA 1
Content of 8.4-9.6 Å channel

Temperature (10^6 K)	2	3	4	5	6	7	8	9
8.4-9.6 Å continuum	4	23	41	60	81	100	120	135
Mg xi $1s^2\ ^1S_0-1s\ 2p\ ^1P_1$ (9.17 Å) + $1s^2\ ^1S_0-1s\ 2p\ ^3P$ (9.23 Å) + $1s^2\ ^1S_0-1s\ 2s\ ^3S_1$ (9.31 Å)	3	30	104	150	170	140	100	70
Mg xii $1s^2\ ^2S_{1/2}-1s\ 2p\ ^2P_{1/2, 3/2}$ (8.4 Å)		0.06	1.8	11	29	45	54	57
Percentage line emission taken as $\frac{\text{Mg xi (3 lines)} + \frac{1}{2} \text{Mg xii}}{\text{total flux}}$	43	57	71	70	64	53	41	30
Flux in units 10^{-14} erg cm $^{-2}$ sec $^{-1}$ ($N_e^2 V$) $^{-1}$								

10^{-54}

TABLA 2

Fecha	M	AREA	C	IN	IN	FLUJO DE ENERGIA (ERG.CM ⁻² .S ⁻¹)	AREA REG. (mm ²)	Ne ² .dv	Ne #e/cc
		SS	zur	9	21				
710603	Af	0	A	7	2	3.53E-06	1.53E+20	1.7E+47	9.7E+09
710625	Bp	0	A	8	3	6.73E-06	2.54E+20	3.3E+47	1.0E+10
710719	Bp	70	A	12	4	4.08E-06	1.77E+20	2.0E+47	9.7E+09
711126	Ap	150	A	39	21	8.39E-05	1.44E+21	4.1E+48	1.5E+10
720101	B	0	AXX	7	4	4.90E-05	2.13E+20	2.4E+47	9.7E+09
720119	Ap	0	AXX	54	30	1.57E-04	2.37E+21	7.7E+48	1.6E+10
720627	Ap	30	AXX	21	6	4.63E-06	2.01E+20	2.3E+47	9.7E+09
730130	A	10	AXX	4	2	2.68E-05	2.24E+20	1.3E+48	2.2E+10
701105	Bf	40	B	64	30	2.07E-04	1.45E+21	1.0E+49	2.4E+10
710601	Y	10	B	9	3	8.21E-06	2.74E+20	4.0E+47	1.1E+10
720406	B	40	BVO	17	6	2.37E-05	6.96E+20	1.2E+48	1.2E+10
720320	Bp	20	BXI	10	4	6.49E-06	2.32E+20	3.2E+47	1.1E+10
720320	Bp	170	BXI	13	5	3.20E-05	8.62E+20	1.6E+48	1.2E+10
720404	Bp	60	BXI	12	14	7.75E-06	3.23E+20	3.8E+47	9.9E+09
730829	B	30	BXI	13	4	1.36E-05	1.69E+20	6.6E+47	1.8E+10
730930	B	10	BXI			3.95E-06	5.52E+19	1.9E+47	1.7E+10
720303	Bp		BXO	6	2	9.94E-06	3.94E+20	4.8E+47	1.0E+10
720318	B	40	BXO	10	4	8.08E-06	3.51E+20	3.9E+47	9.7E+09
720320	B	30	BXO	15	6	1.79E-05	6.29E+20	8.7E+47	1.1E+10
720415	Bp	20	BXO	16	5	9.38E-06	3.34E+20	4.6E+47	1.1E+10
730717	Bp	10	BXO	5	2	4.41E-06	7.65E+19	2.1E+47	1.5E+10
730810	Bp	10	BXO	3	1	4.56E-06	7.92E+19	2.2E+47	1.5E+10
731001	B	60	BXX			1.22E-04	3.51E+20	5.9E+48	3.8E+10
701102	Bp	100	C	10	5	3.19E-05	1.04E+21	1.6E+48	1.1E+10
701203	Bf	100	C	11	6	1.16E-04	1.93E+21	5.6E+48	1.6E+10
701210	Bf	30	C	8	5	3.96E-05	1.17E+21	1.9E+48	1.2E+10
710304	Bp	120	C	9	3	2.26E-06	9.79E+19	1.1E+47	9.7E+09
700304	Bp	30	C	11	4	1.76E-05	4.58E+20	8.6E+47	1.2E+10
700313	Bp	130	C	10	4	1.52E-05	4.26E+20	7.4E+47	1.2E+10
710404	Bp	20	C	8	3	2.60E-06	1.73E+20	1.3E+47	9.7E+09
710407	Ap	110	C	13	4	4.59E-06	1.99E+20	2.2E+47	9.7E+09
710607	Bp	160	C	13	4	1.67E-05	3.10E+20	5.2E+47	1.1E+10
700404	B	30	C	11	3	8.61E-06	2.94E+20	4.2E+47	1.1E+10
710629	Bp	10	C	11	3	1.17E-05	3.61E+20	5.7E+47	1.1E+10
710701	Bp	730	C	44	13	7.59E-05	1.20E+21	3.7E+48	1.6E+10
710702	Bp	120	C	25	7	1.62E-05	5.38E+20	7.9E+47	1.1E+10
710704	Bp	120	C	19	6	1.17E-06	7.31E+20	1.5E+47	9.8E+09
710707	Bp	220	C	24	7	2.14E-06	3.01E+20	4.5E+47	1.1E+10
710711	Bp	40	C	18	5	1.43E-05	4.27E+20	7.0E+47	1.2E+10

Fecha	M	AREA	C	IN	IN	FLUJO DE ENERGIA	AREA REG.	Ne ² .dv	Ne
		SS	Lur	9	21	(ERG.CM ⁻² .S ⁻¹)	(mm ²)		fe/cc
710723	Bp	160	C	27	8	1.11E-05	4.29E+20	5.4E+47	1.0E+10
710902	B	20	C	7	2	3.05E-06	1.33E+20	1.5E+47	9.7E+09
710924	Bp	60	C	12	4	2.62E-06	1.14E+20	1.3E+47	9.7E+09
710930	Ap	380	C	20	2	2.00E-05	6.09E+20	9.7E+47	1.2E+10
720421	Y	280	CAI	19	6	2.20E-05	7.05E+20	1.1E+48	1.1E+10
721213	Bp	60	CAI			1.91E-05	1.38E+20	9.3E+47	2.4E+10
730205	Bp	50	CAI	7	3	1.90E-05	1.38E+20	9.2E+47	2.4E+10
730906	Bp	130	CAI			1.65E-04	6.15E+20	8.0E+48	3.3E+10
720422	D	260	CAO	17	5	2.86E-05	7.68E+20	1.4E+48	1.2E+10
730213	Bp	150	CAO	12	6	5.74E-05	3.67E+20	2.8E+48	2.5E+10
730309	Bp	60	CAO	8	3	2.67E-05	2.05E+20	1.3E+48	2.3E+10
730423	B	80	CAO	9	3	2.26E-05	1.65E+20	1.1E+48	2.4E+10
730729	Bp	100	CAO	13	4	4.94E-05	3.84E+20	2.4E+48	2.3E+10
730625	Bp	40	CEO	7	2	1.12E-05	1.29E+20	5.4E+47	1.9E+10
720715	Bp	500	CHI	29	8	2.39E-05	6.66E+20	1.2E+48	1.2E+10
730106	Bp	270	CHI	18	10	5.07E-05	3.90E+20	2.5E+48	2.3E+10
730904	Bp	380	CHO			5.07E-05	3.02E+20	2.5E+48	2.6E+10
720624	D	200	CKC	50	15	5.12E-05	8.46E+20	2.5E+48	1.6E+10
730302	Bp	320	CKI	32	13	1.05E-04	5.76E+20	5.1E+48	2.7E+10
730528	Bp	150	CKI	24	7	1.39E-04	5.85E+20	6.8E+48	3.1E+10
721022	Bp	530	CKO	39	17	4.55E-05	1.35E+21	2.2E+48	1.2E+10
720229	B	30	CRI	13	15	3.96E-06	1.72E+20	1.9E+47	9.7E+09
720317	Bf	60	CRI	18	7	1.58E-05	5.48E+20	7.7E+47	1.1E+10
720616	Bp	20	CRI	17	5	8.55E-06	3.71E+20	4.2E+47	9.7E+09
730615	Bp	30	CRI	16	5	3.94E-05	3.69E+20	1.9E+48	2.1E+10
731001	Bp	60	CRI			2.65E-05	1.62E+20	1.3E+48	2.6E+10
720316	Bp	30	CRO	14	5	1.58E-05	6.02E+20	7.7E+47	1.0E+10
730111	Ap	80	CRO	3	2	1.41E-05	2.00E+20	6.9E+47	1.7E+10
720215	Ap	260	CSO	26	12	1.02E-04	1.90E+21	5.0E+48	1.5E+10
720311	Bp	130	CSO	11	4	4.49E-06	1.71E+20	2.2E+47	1.0E+10
720424	Bp	120	CSO	10	3	2.05E-06	8.90E+19	1.0E+47	9.7E+09
720424	Bp	30	CSO	11	3	2.48E-06	1.08E+20	1.2E+47	9.7E+09
720818	Ap	100	CSO	9	3	3.67E-06	1.59E+20	1.8E+47	9.7E+09
720923	Ap	120	CSO	8	3	9.96E-06	4.32E+20	4.9E+47	9.7E+09
720925	Bf	40	CSO	11	4	2.62E-06	1.14E+20	1.3E+47	9.7E+09
730829	Bp	90	CSO	6	2	2.61E-05	2.01E+20	1.3E+48	2.3E+10
730920	Bp	30	CSO			9.17E-06	1.27E+20	4.5E+47	1.7E+10
701103	Bp	130	D	10	5	2.69E-05	9.54E+20	1.3E+48	1.1E+10
701220	Ap	720	D	108	67	1.32E-04	2.26E+21	6.4E+48	1.5E+10

Fecha	M	AREA	C	IN	IN	FLUJO DE ENERGIA	AREA REG.	Ne ² .dV	Ne
		SS	Zur	9	21	(ERG.CM ⁻² .S ⁻¹)	(mm ²)		fe/cc
701229	Bp	50	D			3.02E-05	6.06E+20	1.5E+48	1.4E+10
701230	Bp	130	D	8	4	1.53E-05	5.11E+20	7.5E+47	1.1E+10
710123	Y	90	D	13	7	5.17E-05	1.17E+21	2.5E+48	1.3E+10
710123	Bp	640	D	28	14	6.66E-05	1.24E+21	3.2E+48	1.5E+10
710130	Bp	290	D	22	11	6.08E-05	1.02E+21	3.0E+48	1.6E+10
710317	Bp	70	D	11	4	6.07E-06	2.05E+20	3.0E+47	1.1E+10
710321	Bp	90	D	15	5	1.94E-05	6.81E+20	9.4E+47	1.1E+10
710329	D	320	D	15	5	2.44E-05	5.43E+20	1.2E+48	1.4E+10
710331	D	350	D	25	9	2.24E-05	5.48E+20	1.1E+48	1.3E+10
710407	Bp	70	D	19	6	1.04E-05	3.17E+20	5.1E+47	1.2E+10
710424	Bf	80	D	10	3	4.79E-05	8.14E+20	2.3E+48	1.5E+10
710504	Bp	290	D	37	11	7.84E-05	1.11E+21	3.8E+48	1.7E+10
710514	Bf	250	D	30	9	2.35E-05	7.19E+20	1.1E+48	1.2E+10
710518	D	120	D	26	8	3.11E-05	5.06E+20	1.5E+48	1.6E+10
710626	Bf	80	D	13	4	6.32E-06	2.68E+20	3.1E+47	9.8E+09
710716	Bp	170	D	21	6	1.33E-05	4.36E+20	6.5E+47	1.1E+10
710723	D	460	D	49	15	4.43E-05	8.83E+20	2.2E+48	1.4E+10
710920	By	30	D	27	10	3.74E-05	9.19E+20	1.8E+48	1.3E+10
711102	B	140	D	11	5	2.89E-05	5.66E+20	1.4E+48	1.4E+10
711126	Bp	300	D	27	15	1.39E-05	4.33E+20	6.8E+47	1.1E+10
720515	D	180	DAC	48	14	3.50E-05	8.34E+20	1.7E+48	1.3E+10
730209	B	50	DAC			8.05E-06	8.10E+19	3.9E+47	2.0E+10
730408	B	270	DAC	52	17	5.39E-04	4.68E+20	2.6E+49	6.8E+10
730831	Bp	500	DAC			7.90E-05	3.76E+20	3.9E+48	2.9E+10
720224	Bp	120	DAI	76	32	8.96E-05	1.25E+21	4.4E+48	1.7E+10
720623	D	310	DAI	38	11	2.40E-05	5.31E+20	1.2E+48	1.4E+10
720710	Bf	80	DAI	28	8	2.58E-05	7.20E+20	1.3E+48	1.2E+10
720728	Bp	210	DAI	30	9	2.28E-05	6.24E+20	1.1E+48	1.2E+10
721213	Bp	400	DAI	18	10	1.59E-04	5.60E+20	7.8E+48	3.4E+10
730423	D	490	DAI	40	12	1.42E-04	5.52E+20	6.9E+48	3.2E+10
730807	D	250	DAI	28	9	1.27E-04	3.51E+20	6.2E+48	3.8E+10
730904	Bp	280	DAI			1.44E-05	1.51E+20	7.0E+47	2.0E+10
730904	B	240	DAI			4.76E-05	2.76E+20	2.3E+48	2.6E+10
720819	Bp	140	DAO	24	8	1.08E-05	3.99E+20	5.3E+47	1.0E+10
721220	Bp	140	DAO	10	6	3.66E-05	2.85E+20	1.8E+48	2.3E+10
721229	Bp	160	DAO	5	3	7.11E-05	3.01E+20	3.5E+48	3.1E+10
730611	Bp	100	DAO	21	6	2.27E-05	1.73E+20	1.1E+48	2.3E+10
730707	Bp	100	DAO	12	3	1.98E-05	1.47E+20	9.7E+47	2.3E+10
730707	B	140	DAO	13	4	2.56E-05	1.89E+20	1.2E+48	2.3E+10

Fecha	M	AREA	C	IN	IN	FLUJO DE ENERGIA	AREA REG.	Ne ² .dV	Ne
		SS	Zur	9	21	(ERG.CM ⁻² .S ⁻¹)	(mm ²)		#e/cc
720710	Bp	230	DHC	30	9	1.02E-05	3.55E+20	5.0E+47	1.1E+10
711204	Bp	340	DHI	17	10	1.69E-05	4.38E+20	8.2E+47	1.3E+10
720224	Bp	440	DHO	28	12	4.52E-05	9.81E+20	2.2E+48	1.4E+10
720510	Bp	240	DHO	36	11	3.52E-05	9.12E+20	1.7E+48	1.3E+10
720511	Bp	210	DHO	33	10	2.89E-05	8.77E+20	1.4E+48	1.2E+10
720509	B	350	DKI	51	15	3.20E-05	8.91E+20	1.6E+48	1.2E+10
720603	D	260	DKI	26	8	5.71E-05	7.94E+20	2.8E+48	1.7E+10
730521	Y	290	DKI	52	15	1.25E-04	5.69E+20	6.1E+48	3.0E+10
730707	Bp	450	DKI	38	11	5.30E-05	3.29E+20	2.6E+48	2.6E+10
730904	Bp	360	DKI			6.59E-05	3.85E+20	3.2E+48	2.6E+10
731027	D	540	DKI			8.98E-05	4.33E+20	4.4E+48	2.9E+10
720510	D	240	DKO	44	13	5.08E-05	9.67E+20	2.5E+48	1.5E+10
720626	Bf	60	DRI	17	5	1.47E-05	4.73E+20	7.1E+47	1.1E+10
730217	Ap	80	DRI	4	2	1.60E-05	1.67E+20	7.8E+47	2.0E+10
730120	Bp	70	DRO			1.48E-05	1.65E+20	7.2E+47	1.9E+10
720517	Bp	140	DSI	32	10	1.93E-05	5.63E+20	9.4E+47	1.2E+10
730124	Bp	70	DSO			8.35E-06	1.21E+20	4.1E+47	1.7E+10
730215	B	230	DSO	14	6	2.18E-05	1.85E+20	1.1E+48	2.2E+10
730322	Bp	150	DSO	18	6	2.10E-05	2.14E+20	1.0E+48	2.0E+10
730405	D	170	DSO	17	6	3.99E-05	4.31E+20	1.9E+48	1.9E+10
701114	By	400	E	87	44	3.90E-04	2.44E+21	1.9E+49	2.5E+10
701211	D	150	E	26	15	1.79E-04	3.32E+21	8.7E+48	1.5E+10
710111	Bp	780	E	51	29	5.74E-05	7.26E+20	2.8E+48	1.8E+10
710120	By	990	E	47	25	1.17E-04	1.86E+21	5.7E+48	1.6E+10
710630	By	140	E	35	10	1.76E-05	4.96E+20	8.6E+47	1.2E+10
710702	Bp	980	E	69	21	7.61E-05	1.34E+21	3.7E+48	1.5E+10
710707	Bp	70	E	30	9	6.16E-05	1.06E+21	3.0E+48	1.5E+10
710708	B	40	E	26	8	4.12E-05	7.34E+20	2.0E+48	1.5E+10
710716	Bp	570	E	54	16	6.27E-05	1.14E+21	3.1E+48	1.5E+10
710719	Bp	640	E	39	11	2.75E-05	8.58E+20	1.3E+48	1.1E+10
710720	Bp	110	E	15	4	1.10E-05	3.81E+20	5.4E+47	1.1E+10
710720	Bp	420	E	32	9	4.29E-05	1.05E+21	2.1E+48	1.3E+10
711021	By	1010	E	73	30	5.42E-05	1.03E+21	2.6E+48	1.5E+10
730106	By	320	EAI	30	17	4.17E-04	7.28E+20	2.0E+49	4.8E+10
730427	D	190	EAI	37	11	4.17E-04	1.14E+21	2.0E+49	3.9E+10
721223	Bp	300	EAO			1.30E-05	1.37E+20	6.3E+47	2.0E+10
720511	D	280	EHI	36	11	4.92E-05	9.22E+20	2.4E+48	1.5E+10
720803	D	1120	EKC	71	21	1.33E-04	2.03E+21	6.5E+48	1.6E+10
721028	D	1720	EKC	77	35	3.90E-04	4.49E+21	1.9E+49	1.9E+10

TABLA 3

Tipo de Zurich Mancha Solar	A	B	C	D	E	F	H	TOTAL
Número	8	15	53	61	23	7	18	185

DENSIDAD ELECTRONICA VS CLASIFICACION DE ZURICH

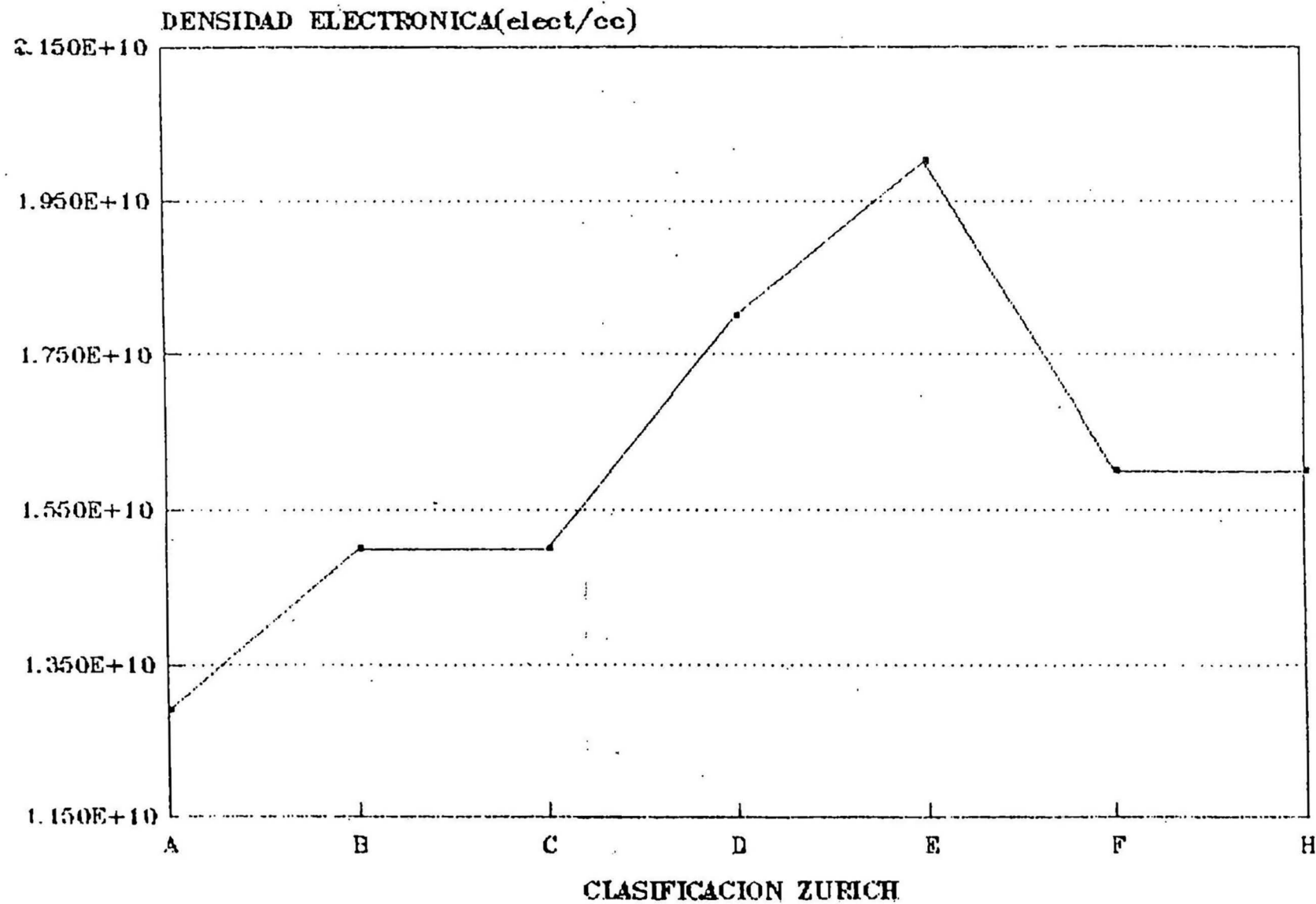


GRAFICO 1

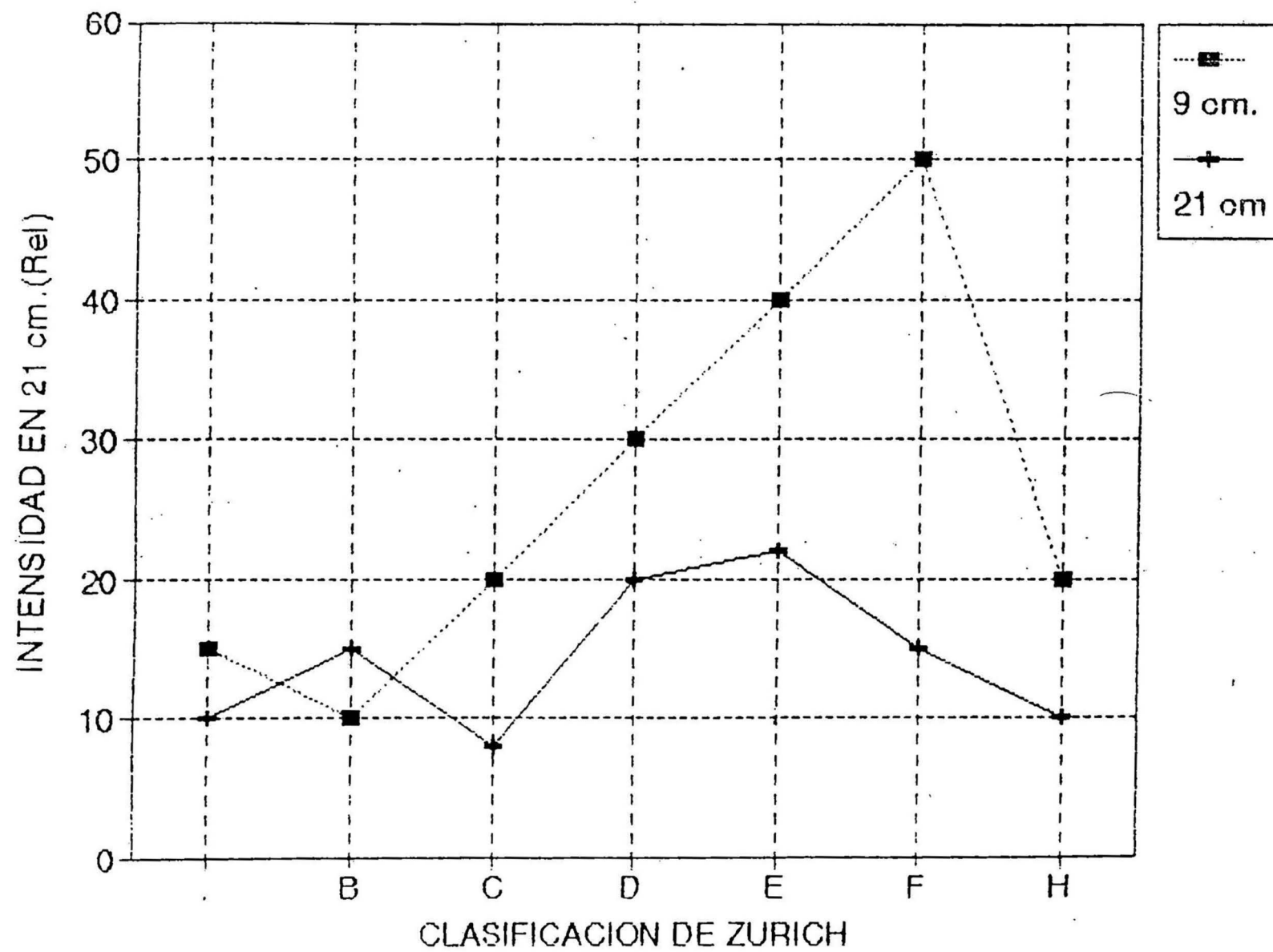


GRAFICO 2

Página 24

Dice:

...han diseñado numeros instrumentos...

Debe decir:

...han diseñado numerosos instrumentos...

Página 30

Dice:

...Nz es el número de iones de carga z y ...

...para la producción de un fotón de frecuencia ν por un electrón de velocidad ...

Debe decir:

...Nz es el número de iones de carga z por unidad de volumen y...

...para la producción de un fotón de frecuencia ν por un electrón de rapidez relativa v , respecto a los iones, $f(v)$ es la distribución de Maxwell para rapideces relativas. Teniendo en cuenta que los iones son mucho mas masivos y lentos que los electrones, $f(v)$ es prácticamente igual a la distribución de rapideces de los electrones...

Dice:

... el flujo por unidad de volumen de la corona solar, a la distancia terrestre, puede ser escrito como: ...
donde λ es la ...

Debe decir:

... el flujo por unidad de volumen de la corona solar, a la distancia terrestre, puede ser escrito de la siguiente forma: ...

...donde el término exponencial corresponde a la función de distribución de Maxwell $f(v)$ y el cociente final indica la sección eficaz para la producción de un fotón, donde λ es la ...

Página 32

Dice:

V.2 RADIACION LIBRE-LIGADO

Debe decir:

IV.3 RADIACION LIBRE-LIGADO

Dice:

... en unidades de volumen de la corona solar, visto desde la Tierra,....

Debe decir:

...en unidades de volumen de la corona solar, (Culhane, 1969), visto desde la Tierra,...

Página 35

Dice:

$$I(\lambda) = I_{ff}(\lambda) + I_{fg}(\lambda) + I_L(\lambda)...$$

Debe decir:

$$I(\lambda) = I_{ff}(\lambda) + I_{fb}(\lambda) + I_L(\lambda)...$$

Dice:

...Iff es mostrada como una curva punteada en la fig(13). El flujo

Debe decir:

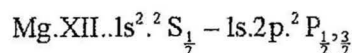
...Iff es mostrada como una curva punteada en la fig(13), I_L es la intensidad de líneas del espectro discreto, cuya contribución es mínima comparado con la intensidad de emisión de los procesos libre-libre ($f-f$) y libre-ligado ($f-b$).

El flujo ...

TABLA 1.

Sexta línea:

Dice:



Debe decir:

